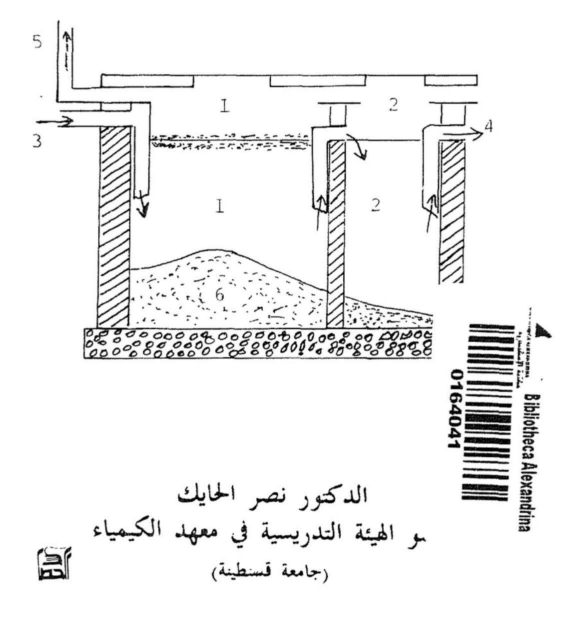
# طرق
# معالجة مياه الصرف






الدكتور نصر الحايك
عضو الهيئة التدريسية في معهد الكيمياء
(جامعة قسطينة)

# طرق معالجة مياه الصرف

الطبعة الأولى : ١٩٩٠
عدد النسخ : ١٥٠٠



دار الحصاد للنشر والتوزيع
دمشق - برامكة - جانب سانا - هـ ٢٤٦٣٢٦

# طرق

# معالجة مياه الصرف

الدكتور نصر الحايك
عضو الهيئة التدريسية في معهد الكيمياء
(جامعة قسطينة)

# المقدمة

يزداد احتياجنا إلى الماء كلما تقدمنا تكنولوجيا نتيجة الاستعمال المفرط للماء في المجتمعات المتقدمة وذلك في المجالات الصناعية والزراعية والخدمات الصحية وتوليد الطاقة وفي الاستهلاك اليومي. ويختلف الاستهلاك اليومي للماء بين الدول المتحضرة والدول الفقيرة نتيجة الاستخدام الواسع للأجهزة المعتمدة على الماء كغسلات الثياب وغسالات أدوات المطبخ وغيرها، فما زال انسان العالم الثالث يكتفي بأقل من 100 ليتر يوميا لسد احتياجاته، في حين أن معدل ما يستهلكه الفرد الواحد في الدول الصناعية لا يقل عن 200 ليتر يوميا. أما استهلاك المياه في المجالات الصناعية فإنها تزداد يوماً بعد يوم نتيجة التطور الصناعي المستمر. وتطرح تلك المياه المستهلكة ضمن البيئة المائية بعد تحميلها بالملوثات العضوية والشعاعية والحيوية حيث تعالج في بعض الحالات بينما يتم التخلص منها دون معالجة في أكثر الحالات كل ذلك أدى إلى زيادة مطردة في تلوث البيئة.

لم يكن تلوث البحار والأنهار بالأمر الجديد فقد كانت أقرب الأماكن إلى تفكير الانسان منذ بدأ يطرح فضلات أنشطته المختلفة بعيداً عن مكان معيشته، ولكن المشكلة لم تكن بمثل ما هي عليه الآن، لأن كمية الفضلات أو الملوثات كانت محدودة وكانت البحار والأنهار قادرة على استيعاب هذه الفضلات أو الملوثات وتحويلها بطريقة ذاتية، غير أن المشكلة تفاقمت في الآونة الأخيرة نتيجة

الزيادة المطردة في طرح المخلفات الصناعية والزراعية والمنزلية ضمن الوسط المائي.

إن حماية البيئة والدفاع عنها مشكلة أساسية في العصر الحالي يجب ايجاد حل لها قبل نهاية القرن العشرين. ولم تعد المشكلة قابلة للحل عن طريق القوانين والتمنيات لأن خطورتها امتدت لتشمل كل جوانب الحياة وكافة المناطق على سطح الكرة الأرضية بل امتدت تلك الخطورة الى المحيط الجوي من خلال تناقص سمك طبقة الأوزون المحيطة بالكرة الارضية والتي تحمي الحياة عليها من حرارة الشمس من خلال امتصاصها للأشعة فوق البنفسجية.

لقد أصبحت مسؤولية الدفاع عن البيئة عامة وتشمل الأفراد والحكومات في البلاد النامية والمتطورة لأن خطورتها تعدت محيط المناطق الصناعية. هذا ما دفعني إلى الاستمرار في الكتابة عن موضوع تلوث المياه مقدماً كتابي الثالث مؤمناً أن توعية الانسان بمخاطر التلوث وايضاح أسبابه هي الوسيلة الوحيدة لرفع درجة الاهتمام بالبيئة ومحاربة التلوث بشكل جماعي أفراداً وشعوباً وحكومات ومنظمات عالمية.

المؤلف

نصر الحايك

# الفصل الأول

## لمحة تاريخية عن معالجة مياه الصرف

### 1 ـ حفر المجارير العامة :

عرفت مدينة لندن أقدم مجارير عامة في أوروبا، حيث كان هناك قنوات لمياه الصرف المنزلية منفصلة عن قنوات مياه الأمطار والمياه الراشحة، وكلها مغطاة تحت سطح الأرض. ونظراً لضعف ميل الارض في بعض الاماكن فقد استعملت محركات للضخ ( Nivet 1882 ).

تأثر نابليون الثالث بفكرة انشاء المجارير العامة عندما كان منفيا في لندن، وأعطى فور عودته الى باريس أمرا باقامة مجارير عامة لمدينة باريس. وتم انشاء مجارير مدينة باريس على مرحلتين حيث تضمنت المرحلة الأولى المجارير المغلقة والمحفورة تحت سطح الأرض، بينما تضمنت المرحلة الثانية انشاء مجاري مفتوحة وعلى اتصال مع الجو الخارجي، مما جعلها مصدرا للأمراض والروائح وخاصة في سنوات الجفاف ( 1880 ). وصدر قانون في عام 1894 ينظم عملية انشاء المجارير العامة، ويعطي مهلة قدرها 3 سنوات لربط كل الأبنية في قنوات مغلقة تحت سطح الأرض.

## 2ـ المحاولات الأولى لعمليات الترسب والترشيح :

بدأت فكرة معالجة مياه الصرف بإزالة المواد الصلبة الكبيرة الحجم نسبيا باستخدام عملية الترقيد، ولكن التجارب والتحاليل الكيميائية قد أثبتت أن تأثير تلك العملية على درجة التلوث محدوداً جداً، مما دعى العاملين في مجال معالجة مياه الصرف الى إضافة مراحل أخرى لعملية الترقيد كتحسين طريقة فصل الجسيمات الصلبة عن السائلة وتعقيم (تطهير) المياه. استعمل في بداية الأمر الكلس الحي في تطهير المياه وظل استعماله ساريا إلى نهاية القرن التاسع عشر في الكثير من محطات التصفية المخصصة لمياه الصرف، بينما تم استبعاد استعمال الكلور والبرمنغنات لارتفاع تكاليف تحضيرها. واستخدم فيما بعد الترشيح في تصفية مياه الصرف باستعمال شبك معدني أوخشبي لازالة الأجسام الصلبة المعلقة ومن ثم استعمال الحصى والرمل الخشن مع تطبيق نظام غسل تلك المرشحات بين حين وآخر بواسطة الماء النقي.

استخدمت عملية الترسب الكيميائي لأول مرة في عام 1866 بواسطة كلور الحديد غير أن استعمالها ظل محدوداً لارتفاع ثمن كلور الحديد في تلك الفترة. وتم استخدام كبريتات الألمنيوم في عملية الترسب، غير أن العامل الاقتصادي تدخل مرة أخرى ليحد من تطبيقها بشكل واسع، وقد تم تصفية 300000م 3 من مياه الصرف في عام 1869 باستخدام كبريتات الألمنيوم، واستخدمت عدة طرق للتخلص من الرواسب الناتجة، ومن تلك الطرق التنشيف بواسطة الهواء أو الحرارة واستعمال المرشح الضاغط، غير أن الصعوبات التقنية لبعضها والنتائج السلبية للبعض الآخر أدى إلى التخلي عن تلك المعالجة في الكثير من المحطات.

جاءت تلك المحاولات في وقت مبكر جداً، حيث أسعار المواد الكيميائية عالية جداً بالاضافة إلى غياب التقنية القادرة على حل الكثير من الصعوبات

وخاصة التخلص من الرواسب المتشكلة بعد عملية الترسب الكيميائي ولذلك فشلت تلك العمليات ولم ترى النور في المجال العملي الا في القرن العشرين.

بدأت المحاولات الأولى للجمع بين الطريقة الفيزيائية الكيميائية والطريقة الحيوية للمعالجة في بداية القرن العشرين ( 1900 )، حيث كتب CRIMP عن الأثر السلبي للمعالجة الكيميائية لمياه الصرف على المعالجة الحيوية. كما حدث تطور كبير في تصنيع أحواض الترقيد وجعل قاع الحوض مائلاً ( 60 درجة ) للتخلص من الرواسب، واختراع شفرات تدور في قاع الحوض لتنظيفه باستمرار بطريقة يدوية الى أن أصبحت آلية في عام 1925 . أما استعمال الشبك المعدني في مدخل محطة التصفية فقد ظل دون تطور لفترة طويلة مشكلاً حاجز حراسة للمحطة من الأجسام الصلبة الكبيرة المحمولة داخل التيار المائي. نشير أخيراً الى أن عمليات الترسب ( Sedimentation) كانت تعرف قديماً تحت اسم عمليات التطهير ( Desinfection) ، بينما عرفت عمليات الترشيح ( Filtration) تحت اسم عمليات الترسب ( Preciptation).

## 3- تصفية مياه الصرف واعادة استعمالها في ري المزروعات : مصفى المجارير

## Epuration et reutilisation agricole des eaux usée: L'EPANDAGE

استعملت مياه المجارير العامة منذ القديم في ري الأراضي الزراعية، وقد نقلت الفكرة من الصين إلى أوروبا بواسطة المبشرين المسيحيين العائدين من هناك (القرن السابع عشر)، وكانت الصين تستعمل بشكل واسع المخلفات البشرية والحيوانية كأسمدة عضوية طبيعية في الزراعة. وتطور استعمال تلك

الطـريقـة مع تطور طرق التحليل الكيميائي ، حيث تم تحديد دور الآزوت والمواد العضوية في تغذية النباتات المروية بمياه المجارير العامة ( 1830 ) .

أُنشِئت شركة انكليزية (Metropolitant Swage Monure Company) في عام 1845 لتوزيع مياه المجارير لمدينة لندن بواسطة أنابيب خاصة على المزارعين حيث يتم مزجهـا مع ميـاه الـري العـاديـة قبـل استعـمالها في سقي الأراضي الزراعية . واستخـدمت طريقـة التصفيـة لميـاه المجـارير العامة بواسطة مساحات واسعة من الأراضي الـرمليـة ، وقد أعطت تلك الطريقة نتائج جيدة وما زالت تستعمل حتى يومنا هذا في مناطق محدودة ونذكر منها حقل Reims في فرنسا والذي أنشىء في عام 1885 ومـا زال يستعمـل حتى اليـوم . وكـان الاعتقاد السائد أن استخدام الحقول الـرمليـة يمثـل ترشيحـاً ميكـانيكيـاً لميـاه الصـرف إلى أن أثبت المجمـع الملكي الانكليزي المختص بمعالجة المياه في تقرير له ( 1870 ) بأن تلك العملية تتضمن تحولات كيميـائيـة وفيـزيـائيـة تؤدي الى تشكـل مركبـات مختلفـة عن المـركبات الأسـاسيـة المـوجـودة في ميـاه الصـرف ، وأكـد التقـريـر وجود تفاعلات الأكسدة الكيميائية بشكل ملحوظ ضمن الطبقة الرملية أو الترابية المغمورة بمياه المجارير . وبعد عشر سنوات من تلك النتائج ، عرفت الأجسام الحية الدقيقة الهوائية وبشكل خاص بكـتر يـا النـترجة ( 1882 ) . عُمِّمت طريقة التصفية باستعمال التربة على المـدن الانكليـزيـة الأخـرى بين عامي 1860 و 1880 ، كما طبقت تلك الطريقة في مدن أوروبيـة أخـرى ، حيث استعمـل حقـلاً مسـاحته 8000 هيكتار لتصفية مياه المجارير العامة لمدينة برلين .

بدأت التجـربـة في مدينـة باريس لتصفيـة ميـاه المجـارير باستعمال حقول زراعيـة في عام 1867 ، حيث تم تحويـل حقـل الـرمي القريـب من Gennevilliers والمكـون من أرض رمليـة إلى أرض زراعيـة منتجـة للكثير من المزروعات ومروية بميـاه المجـاريـر . وتم توسيع التجربة في عام 1876 لتشمل المنطقة الواقعة في غابة Saint - Germain القـريبـة من Achères . وتـرافق هذا التوسع مع ظهور موجة احتجاج

كبيرة ضد استخدام مياه المجاري في ارواء الأراضي الزراعية وقاد تلك الحملة تياران هما :

ـ أصحاب القصور والبيوت القريبة من تلك المناطق، وقد احتج هؤلاء على ظهور التلوث وانتشار الروائح الكريهة مما أفقد تلك المناطق قيمتها السياحية.

ـ أما التيار الثاني فقد تكون من المدافعين عن البيئة وضم الأطباء والباحثين وعلى رأسهم العالم المشهور باستور ( Pasteur ) وطلابه، وقد طالب التيار الأخير بإقامة قنوات مغلقة لمياه الصرف من مدينة باريس الى بحر المانش في شمال فرنسا لتصب تلك المياه مباشرة في البحر لتجنب تلوث مياه الأنهار أيضاً.

ولكن رغم كل تلك الاعتراضات والاحتجاجات فإن مشروع ارواء الأراضي الزراعية بمياه المجارير العامة (التصفية باستعمال مساحات واسعة) استمر بالتطور والتوسع، حيث قُرِّرَ في عام 1889 بداية العمل باحداث حقل جديد قرب مدينة باريس مساحته 5500 هيكتار مع تخصيص 40000 متر مكعب للهيكتار الواحد في العام، وهذا ما سمح بتصفية 80٪ من مياه الصرف لمدينة باريس والبالغة 270 مليون متر مكعب سنوياً في تلك الحقبة. غير أن موجات الاحتجاج ازدادت مع التوسع في انشاء حقول التصفية ونشر الدكتور Calmette دراسة مستفيضة عن أضرار تلك التصفية وخاصة تأثيرها في نقل البكتريا الممرضة البرازية إلى الخضار المزروعة في تلك الحقول ( 1901 )، مما دعى وزير الفلاحة الى اصدار أمراً يمنع فيه زراعة الخضار في الحقول المستعملة لتصفية مياه المجارير ( 20 أوت 1906 ). وتابع الدكتور Calmette أبحاثه في مجال تلوث المياه ليقدم بعد فتره من البحث حلاً للمشكلة باجراء التصفية الحيوية (استعمال السرير البكتري) على مياه المجارير قبل استخدامها في الري، ولكن لم تجد تلك الفكرة المؤيدين لها ولم يجري تطبيقها الا بعد سنوات عديدة حيث أصبحت تلك الفكرة حلاً جوهريا لتصفية مياه الصرف.

بعد فترة الازدهار التي عرفتها طريقة التصفية باستعمال مساحات واسعة

من التربة بدأت تنحسر وتختفي ليحل محلها الطرق الأخرى للمعالجة، ولكن عادت تلك الطريقة من جديد في العصر الحالي لتظهر على شكل حقول تجريبية وأخرى انتاجية وخاصة لتصفية مياه الصرف لمصانع المواد الغذائية الزراعية، ومنها مصانع الحليب ومشتقاته. وسنتعرف على التجارب والمنشآت القائمة حالياً في فصل لاحق.

## 4 - تحليل مياه الصرف:

بدأت أولى عمليات تحليل مياه الصرف في منتصف القرن التاسع عشر، وكانت تشمل بعض العناصر المنحلة (الحديد، البوتاسيوم، الصوديوم، شوارد الكلور، الكالسيوم، وحمض الكربون، . . . . . . .) وبعض العناصر المعلقة في الماء (أكسيد الحديد والألمنيوم، والكالسيوم، المغنيزيوم، المواد العضوية الآزوتية، . . .)، وقد تم اكتشاف دور الأكسجين المنحل في الماء في عمليات التنقية الذاتية أو عمليات التصفية بحدود عام 1870 وقد احتل منذ ذلك التاريخ مرتبة خاصة وهامة في تحليل المياه.

استعملت طريقة الأكسدة بالبرمنغنات للمرة الأولى في عام 1908 كطريقة جديدة لتحديد استهلاك الأكسجين من قبل العينة المائية لأكسدة المركبات المعدنية والعضوية القابلة للأكسدة. بينما تم استعمال البرمنغنات في تحليل المياه لأول مرة في عام 1883، حيث استخدم لتحرير النشادر من العينة المائية في وسط قلوي ومن ثم معايرة النشادر بعد اجراء عملية التقطير. وفي تلك الفترة وضع العالم Kjeldahl طريقته المشهورة لمعايرة الآزوت والتي ما زالت تستعمل إلى يومنا هذا.

اكتشف العالم Winc Kier (1888) أول طريقة لمعايرة الأكسجين المنحل في الماء، مما سمح بتطور الأبحاث المتعلقة بدوره في عملية التنقية الذاتية والتصفية الحيوية

للماء، كما ساعد هذا الاكتشاف على ظهور مقياس هام لتلوث المياه وهو الطلب الكيميائي الحيوي للأكسجين (DBO). طور الباحثون الانكليز طريقة الطلب الكيميائي الحيوي للأكسجين ( DBO ) بأحداث عملية التمديد للعينة المائية وتحديد شروط القياس والفترة الزمنية للاحتفاظ بالعينة والتي ثبتت بخمسة أيام وهو ما يعرف حتى الآن بـ DBO5 وتم اختيار تلك الفترة الزمنية على أساس أنها تشكل الزمن اللازم لوصول مياه الصرف إلى البحر لأبعد المدن الانكليزية عنه.

رغم النتائج الجيدة لمقياس الطلب الكيميائي الحيوي للأكسجين فقد عبر واضعها Adeney (1926) عن عدم ارتياحه لنتائجها وسعى جاهداً لايجاد مقياس جديد أكثر دقة للتلوث العضوي، وقد تكللت جهوده بالنجاح عندما اقترح عملية الأكسدة بثاني كرومات البوتاسيوم في وسط حمضي وهو ما يعرف حالياً بمقياس الطلب الكيميائي للأكسجين (DCO). انتشر هذا المقياس بشكل واسع في الولايات المتحدة الأمريكية وقام العالم Moor (1951) بتحديد شروطه بشكل دقيق، ولكن يظل العالم Adeney المؤسس الأول لطريقتي القياس DBO و DCO . يعتبر اكتشاف مقياس DCO نهاية مرحلة القياسات باستعمال الأدوات المخبرية البسيطة (الأدوات الزجاجية) وبداية عصر الأجهزة، حيث تم اختراع جهاز قياس الكربون العضوي الكلي (COT وجهاز قياس الطلب الكلي للأكسجين (DTO).

## 5 ـ السرير البكتري Lit Bacterien :

ترافقت عمليات التصفية باستعمال الحقول الزراعية الواسعة ( L'Epandage) مع دراسات مخبرية للتصفية باستعمال أعمدة من التراب أو الرمل ( Müller في برلين 1865 و Franklin في لندن 1868 ). وبعد سنوات عديدة من البحث توصل العالم Wartington في عام 1882 الى نتائج جيدة لعملية أكسدة

الآزوت الموجود في مياه الصرف باستعمال طريقة الترشيح البطيء على طبقة من الرمال الناعمة. وفي نفس الفترة أعلن الباحث Latham عن انشائه لطبقة صناعية لتصفية مياه الصرف ارتفاعها 1,5 ومساحة سطحها 4000 م 2 وتحوي في داخلها التراب والفخار المشوي، وتبلغ استطاعة تلك الطبقة تصفية المخلفات السائلة (مياه المجارير) لقرية يبلغ عدد سكانها 15000 نسمة.

أنشئت في الولايات المتحدة الأمريكية محطة Lawrence (1887) التجريبية لدراسة طرق تصفية مياه الصرف، وضمت تلك المحطة مهندسين من اختصاصات مختلفة (كيمياء، علوم جرثومية، علم المياه، . . . .) وكانت المجموعة تحت اشراف العالم المشهور في هذا المجال Allen Hazen . درست تلك المجموعة من الباحثين الفعالية الحيوية (الفعالية البيولوجية) أثناء حدوث عمليات التصفية وتوصلت الى نتائج جيدة باستعمال الحصى بدل التربة في أعمدة الترشيح البطيء، وتم انشاء مرشح مملوء بالحصى ويعمل بدون توقف، وقد استمرت فترة تجريبه من نوفمبر 1890 الى جوان 1891 . وقد أعطت تلك التجربة شهرة عالمية للمركز المذكور مما جعله كعبة العاملين في مجال معالجة مياه الصرف من كل أنحاء العالم.

استخدم الباحث الانكليزي Dibdin (1892) مواد خاملة لتكون حاملاً للبكتريا مع ضخ الهواء من الأسفل وإزالة المواد المترسبة، وكتب ذلك الباحث في عام 1897 يقول: (أثبتت التجارب وبصورة أكيدة أن الطريقة الأفضل لتصفية مياه المجارير في حالة غياب المساحات الشاسعة من الأراضي تتلخص بإزالة المواد الراسبة في المرحلة الأولى ومن ثم اغناء الماء بالأجسام الحية الدقيقة وبالهواء حيث تتم عملية التصفية ومن ثم تطرح المياه الناتجة في الأنهار). ويمكن اعتبار تلك النتائج الاشارة الأولى لطريقة التصفية بواسطة الحمأة المنشطة والتي طبقت بعد 20 عاماً من ذلك التاريخ.

توالت الأبحاث خلال 20 عاماً لتحسين شروط عمل السرير البكتري،

والـذي تطـور بشكـل سريـع في انكلترا حيث بلغ عدد المـدن المستعملة لطـريقة السـريـر البكـتر ي في تصفيـة ميـاه المجارير 120 مدينة في عام 1907 وكلها أعطت نتائج جيدة. بينما كان الانتشار أقل سرعة في ألمانيا، حيث بلغ عدد المدن المعتمدة على التصفيـة بطـريقـة السـرير البكتر ي 21 مدينة فقط، بينما لم تشهد فرنسا أي انتشار لتلك الطريقة قبل عام 1907.

استمـر تطـور تلك الطـريقـة وانتشارها وما زالت تتطور باستمرار من حيث مجال تطبيقهـا أو المـواد المستعملة داخـل السـرير البكتر ي أو التقنية في دخول الماء والهواء، وسنتعرف على تطورها الحديث في فصل لاحق.

## 6 ـ نظام الدوران أو القرص الحيوي:

نظراً للتكاليف العالية للسرير البكتر ي ولمحدودية كمية الماء المعالجة، فقد تم التوجه الى احداث أحواض كبيرة للمعالجة تحوي بداخلها أزرع متحركة تقوم بعملية تحريك للمياه وتشكل أيضا الحامل البكتر ي. واستناداً لتلك الفكرة صمم مهنـدس المـاني ( Wiegang) حوضـاً تتحـرك داخله أذرع مصنوعة من ألواح خشبية ( 1900) ، واقـتـرح مهنـدس فرنسي نماذجـاً من الاسطـوانـات المملوءة برماد الفحم الحجري أو قطع الفخار المسامية، وبالتالي فإنها تمثل سرير بكتر ي متحرك (1915) ، غير ان ذلك الاقتراح لم يتجاوز كونه اكتشاف ولم يتم تطبيقه على الاطلاق.

واقـترح Doman (1929) طريقـة تجريبيـة تعتمـد على قرص من الغرافيت مغمور بشكـل جزئي في حوض المعـالجـة ويـدور القرص بشكل عمودي مما يسمح بتهوية جزء من القـرص بينـما يكـون القسـم الآخـر مغموراً داخل الحوض. غير أن وزن القـرص الكبـير وتكـاليفـه المرتفعة حالت دون انتقاله للتطبيق الصناعي. ولتوفير استهلاك الطاقة اللازمة لادارة القرص الحيوي ( Disque Biologique ) فقد اقترح

Maltby (1930) تكـوين قرص على شكـل مروحـة مؤلفة من شفرات خشبية تدور بفعل التيار المائي ، ولكن الصعوبة في التطبيق تمثلت بالتوافق بين سرعة تدفق المياه القادرة على ادارة القرص وزمن التلامس اللازم لحدوث التفاعلات الحيوية .

استمـرت الاقـتراحـات المختلفـة من قبـل البـاحثين الى أن ظهرت نتائج تجارب Pöpel و Hartmann في بداية عام 1950 (جامعة ستوتجارغت الألمانية) والتي وضِعَت بشكلهـا الصنـاعي في عام 1960 . وقد انتقلت تلك الطريقة إلى أوروبا

بشكـل سريـع ومن ثم الى الولايات لمتحدة الامريكية في عام 1969. وطورت طريقة قرص Pöpel و Hartmann بادخال المواد البلاستيكية داخل القرص وانتشر استعمالها في المحطات الصغيرة .

## 7 ـ الحمأة المنشطة (الوحل المنشط) Boue Activée :

قدم الباحثان Ardern و William في الثالث من أفريل (نيسان) 1914 نتائج تجربـة هامـة في تاريـخ المعـالجـة الحيـويـة لمياه الصرف وتتلخص بما يلي : أجريت التجربة على 2 ليتر من مياه الصرف الموضوعة في وعاء مع وجود تيار من الهواء في داخله حتى اتمام عملية النترجة . ولقد استغرقت تلك العملية 5 أسابيع ، ومن ثم تركت نترقـد وفصـل الطـور السائل مع الاحتفاظ بالحمأة المنشطة والراسبة في قاع الـوعـاء ، وملىء الـوعـاء من جديـد بميـاه الصـرف وانطلقت عملية المعالجة من جديـد ، وكـان الـزمن المستغرق في المرحلة الثانية أقل من المرحلة الأولى من أجل اتمـام عمليـة النـترجة للعينة المائية . وبعد تكرار تلك العملية لمرات عديدة (إزالة الطبقـة المـائيـة بعـد عملية النترجة وتعويضها بمياه صرف خام) تم الوصول الى زمن قدره 24 ساعة لاحداث نفس الفعل الذي استغرق 5 أسابيع في البداية وهذا عائـد الى زيـادة كميـة الحمأة المنشطـة في الجملة المتفـاعلة . ومنـذ ذلـك التاريخ

اصطلح على تسمية الراسب الناتج بالحمأة المنشطة ( Boue Activée ) ، ودخلت تلك الطريقة عالم معالجة مياه الصرف لتصبح خلال فترة قصيرة الطريقة الأكثر انتشاراً .

استمرت محاولات Ardern و Lockett لدراسة تأثير العوامل المختلفة على حركية وسرعة التحولات الحادثة ( PH الوسط ، درجة الحرارة ، . . . ) وكيفية تحديد دور الحمأة المنشطة من الناحية الفيزيائية والكيميائية والحيوية والتي تتدخل في عمليات التحول الجارية . ولتأكيد كون الفعل الحيوي هو الأساس في تلك التحولات ، أجريت عملية تعقيم للحمأة المنشطة ووجد أنها قد فقدت فعاليتها . أكمل Ardern أبحاثه حول عملية التصفية باستعمال الحمأة المنشطة معطياً نشرة ثالثة وأخيرة في سبتمبر (أيلول) 1915 محدداً من خلالها الشروط التجريبية (تدفق الهواء ، كمية الحمأة المنشطة ، درجة الحرارة ، . . . . ) وموضحاً تأثير العناصر السامة المنحلة في مياه الصرف على سير العملية . وبذلك كانت فترة 18 شهراً كافية لوضع طريقة جديدة في مجال تصفية مياه الصرف والتي ما زالت حتى يومنا هذا من أهم الطرق المستعملة وأكثرها انتشارا في هذا المجال .

يعتبر Ardern أول من أعطى طريقة متكاملة لمعالجة مياه الصرف بواسطة الحمأة المنشطة ولكن هناك أبحاث كثيرة تعرضت لذلك الموضوع قبل ذلك التاريخ وقد استفاد منها Ardern في وضع طريقته موضع التنفيذ بشكل نهائي ونذكر فيما يلي أهم الباحثين في هذا المجال والذين سبقوا الباحث Ardern :

Lauth (1875) , Smith (1882) , Mille (1885) , Fowler (1897), Mather (1893), Gage - Clark (1912), Attwood (1914).

أنشئت أول محطة لتصفية مياه الصرف اعتماداً على طريقة الحمأة المنشطة في Salford بطاقة قدرها 300 م 3 في اليوم الواحد ومن ثم تلتها المحطة التي أنشأها

Jones و Atwood في مدينـة Worcester بتغـذيـة مستمرة وصلت الى 7500م 3 في اليوم ( 1916 ) .

قام الأستاذ Bartow الأمريكي بزيارة إلى مخبر Ardern و Lockett وفور عودته إلى الـولايـات المتحـدة الأمـريكية باشر بتطبيق وتطوير تلك الفكرة وأنشأ محطات للتصفيـة في مدن كثـيرة، بينـما توقفت الأبحـاث والانشـاءات في انكلترا نتيجـة الحـرب العـالميـة الأولى . ونـذكـر فيـما يلي أهم المحطـات التي أنشأهـا Bartow في الولايات المتحدة الأمريكية :

| المدينة | العام | الاستطاعة | |
|---|---|---|---|
| TEXAS | 1916 | 450 | م$^3$ يومياً |
| MILWAUKEE N° 1 | 1916 | 7500 | = = |
| HOUSTON | 1917 | 21000 | = = |
| HOSTON | 1918 | 19000 | = = |
| MILWAUKEE N° 2 | 1925 | 170000 | = = |
| INDIANAPOLIS | 1925 | 190000 | = = |
| CHICAGO | 1927 | 660000 | = = |

جدول ص ١٦

وبعد نهاية الحرب العالمية الأولى ، ظهرت مدرستان مختلفتان تميزت الأولى (الانكليزية) بالمحافظة على مبدأ التزجة الكاملة ولذلك فإن زمن التماس بين الماء المراد معالجته والحمأة المنشطة ظل 24 ساعة والتي سميت فيما بعد بالتهوية المطولة . بينـما تميـزت المـدرسـة الثـانيـة (أمـريكية) بالاكتفاء بزمن قصير للتماس ( 3 إلى 6 ساعات) والتي طبقت على عشرات المدن الأمريكية . ومنذ تلك الفترة الى يومنا

هذا فإن الابحاث منصبة على تحسين المردود ودراسة كافة العوامل الداخلة في ذلك التحول والمؤثرة على حركية التفاعلات الحادثة، اضافة إلى ادخال الأجهزة الحديثة في تلك المحطات بحيث تحولت الى محطات آلية بشكل كامل.

## 8 ـ معالجة الحمأة Traitement des Boues :

طرحت مشكلة التخلص من الحمأة مع ظهور الطرق الحيوية للمعالجة (السرير البكتري أو الحمأة المنشطة) وذلك في القرن التاسع عشر، واختلفت الآراء حول طرق التخلص منها، حيث اقترح البعض تحويلها إلى سماد زراعي، بينما تخلص منها البعض الآخر بوضعها ضمن حفر مغلقة أو قذفها ضمن مياه الأنهار أو البحار.

استخدم Mouras (1883) طريقة الآبار لحفظ البقايا الناتجة عن محطة تصفية مياه الصرف لفترة زمنية كافية لتخمر تلك البقايا بحيث تكون خالية من الروائح بعد عملية التخمر. ولقد اقترح Imhoff (1907) انشاء حفرة من طابقين، يقوم الطابق الأول بدور المرقد، بينما يشكل الطابق الآخر (الطابق السفلي) غرفة لتخمر الحمأة المتجمعة، وما زالت تلك الفكرة سائدة حتى يومنا هذا مع ادخال مادة الاسمنت في بناء تلك الحفرة.

بدأت دراسة عمليات تخمر الرواسب الناتجة عن مياه المجارير في مختبر محطة Lawrence باستعمال وعاء خاص بذلك منذ عام 1899 . وكان أول تطبيق صناعي لها في محطة التصفية Birmingham حيث أحدثت حفرة عمقها 3 م وخصصت لتجميع الحمأة الناتجة عن المحطة، ولكن رغم حدوث حالة استقرار للحمأة فإن انطلاق الروائح قد استمر مما سبب عائقاً في استمرار استخدامها، مما دعى المسؤولين عن المحطة إلى انشاء حجرة مغلقة ومغذاة باستمرار ( 1911) . ونظراً للتكاليف العالية لمعالجة الحمأة والقريبة من تكاليف تصفية المياه فقد استمرت

عمليات البحث لتخفيض تكاليف معالجة الحماة ولقد ادت تلك الأبحاث إلى نتيجة هامة تمثلت باستخدام الغاز الناتج عن عمليات التخمر كمصدر للطاقة وذلك بتسخين حجرة التخمر مما أدى إلى زيادة كبيرة في سرعة التخمر أيضاً ( 1920 Prüss ) .

ظلت طريقة معالجة الحمأة بواسطة التخمرات اللاهوائية سائدة لمدة تزيد على نصف قرن، وكانت الزامية لكل محطات التصفية. غير أن انخفاض سعر الطاقة في بداية الخمسينات من هذا القرن نتيجة اكتشاف البترول سمح بتطوير طريقة التقهقر الحيوي للمركبات العضوية الموجودة في الحمأة بواسطة التفاعلات الهوائية.

تهدف معالجة مياه الصرف إلى الحد من درجة تلوثها بحيث لا يؤدي طرحها في المياه السطحية إلى ضرر للحياة النباتية أو الحيوانية داخل الوسط المائي. وتحدد شروط المياه المتدفقة ضمن قوانين خاصة لكل بلد، ولكن هناك قواعد عامة قائمة على أسس علمية يجب أخذها بعين الاعتبار عند وضع تلك القوانين (ملحق 1).

تتم معالجة مياه الصرف العامة بطرق مختلفة، وقد تستعمل تلك الطرق بشكل منفصل أو تجمع ضمن سلسلة واحدة للمعالجة، وأهم تلك الطرق:

- منشآت للتصفية الفيزيائية.
- منشآت للتصفية الفيزيائية الكيميائية.
- منشآت للترشيح الحيوي.
- منشآت للمعالجة بالحمأة المنشطة.

# الفصل الثاني

## نوعية مياه الصرف ومصادرها

أدت الزيادة في عدد السكان والتحسن المستمر في نوعية السكن مع الاهتمام المتزايد بالصحة إلى زيادة مطردة في استهلاك مياه الشرب وبالتالي زيادة في حجم مياه الصرف المنزلية. مما دعى إلى وضع قوانين صارمة خاصة بشبكات مياه الصرف وتنظيم طرح الفضلات في المياه السطحية، علماً أن تلك الفضلات تشكل مصدراً هاماً من مصادر تلوث المياه السطحية والجوفية.

جرت في الفترة الأخيرة دراسات عديدة لتحديد مصدر وتركيب مياه الصرف وقد ساعد على ذلك تطور طرق التحليل، كما شملت تلك الدراسات تحديد خواص مياه الصرف المختلفة وحمولتها من المواد المعلقة الصلبة أو العضوية أو الحمولة البكترية بدلالة حجم مياه الصرف المقذوفة أو بدلالة تدفقها. ويعبر عادة عن حمولة الماء بالمواد الصلبة بدلالة حجم مياه الصرف المطروحة، بينما يعبر عن الحمولة العضوية بدلالة المقاييس التالية: M V S,M E S,D C O,D B O ، بينما تعطى الحمولة البكترية في العينة بعد عملية الزرع.

تحوي مياه المجارير العامة للمدن على أنواع مختلفة منها مياه الصرف المنزلية ومياه الصرف الصناعية الناتجة عن الوحدات الصناعية الصغيرة الموجودة في داخل المدن وكذلك مياه الأمطار وبعض الينابيع التي تتدفق مباشرة في المجارير العامة.

## 1 ـ مصادر مياه الصرف:

### 1 - 1 ـ مياه الصرف الناتجة عن الاستعمالات المنزلية:

تجمع مياه الصرف القادمة من التجمعات السكنية في أقنية خاصة تقع عادة في مستوى منخفض بالنسبة إلى أي بناء قائم ضمن المدينة، وتقذف تلك المياه خارج التجمعات السكنية ويمكن تقسيم مصادرها إلى ما يلي:

أ ـ مخلفات الانسان الطبيعية (براز، بول، . . . .)، توجد في المناطق السكنية قنوات تحمل مياه المراحيض لتجمع فيما بعد مع المياه الأخرى. وتحوي تلك المياه المخلفات الطبيعية للانسان من براز وبول وغيره محمولة ضمن المياه المستعملة داخل المراحيض، ويعطي الانسان الواحد عادة 20 إلى 30 ليتر من مياه المراحيض ويكون تركيبها بشكل تقريبي كما يلي (جدول 1):

| | | |
|---|---|---|
| $DBO_5$ | 12 - 18 غ | للإنسان الواحد يومياً |
| DCO | 25 - 35 غ | للإنسان الواحد يومياً |
| MES | 8 - 12 غ | للإنسان الواحد يومياً |
| MVS | 8 - 12 غ | للإنسان الواحد يومياً |
| $NH_4^+ - N$ | 3,5 - 5,25 غ | للإنسان الواحد يومياً |
| P | 0,2 - 2 غ | للإنسان الواحد يومياً |
| بكتريا | 10 مليار في 100 مل ماء. | |

جدول 1 : معدل نواتج الإنسان الواحد من الفضلات الطبيعية يومياً.

ب ـ مياه الاستعمالات المنزلية الأخرى (مغسلة، حمام، مطبخ)، يختلف حجم مياه الاستعمالات المنزلية ونوعيتها بشكل كبير تبعاً للأجهزة المستخدمة في المنزل (غسالة ألبسة، غسالة أواني المطبخ، . . .) وبالتالي فان كمية ونوعية مياه

الصرف المنزلية ترتبط بشكل مباشر بالمستوى الاقتصادي للسكان. ويتراوح حجم الماء المستعمل من 15 ليتر للانسان الواحد يومياً الى 100 ليتر يومياً، ويعطي الجدول 2 متوسط مخلفات الانسان الواحد يومياً باستثناء مياه المراحيض.

| | | |
|---|---|---|
| $DBO_5$ | 40 - 50 غ | للإنسان الواحد يومياً |
| DCO | 75 - 95 غ | للإنسان الواحد يومياً |
| MES | 30 - 40 غ | للإنسان الواحد يومياً |
| MVS | 20 - 30 غ | للإنسان الواحد يومياً |
| $NH_4^+ — N$ | 6 - 10 غ | للإنسان الواحد يومياً |
| P ( فوسفور ) | 2 - 4 غ | للإنسان الواحد يومياً |

جدول 2 : معدلات المخلفات الناتجة عن الإنسان الواحد يومياً باستثناء مياه المراحيض

يعطي الفرد الواحد الذي يعيش في منزل حديث يحوي على الأجهزة المنزلية من غسالة للالبسة وغسالة للأواني المطبخية وغيرها كمية من مياه الصرف تعادل 150 ليتراً تقريباً في اليوم الواحد، ويوضح الجدول 3 تدفق مياه الصرف ومتوسط الحجم الناتج عن الاستعمال الواحد لتلك المرافق.

| مصدر مياه الصرف | تدفق المياه الناتجة ليتر / ثا | الحجم المستعمل للمرة الواحدة وللإنسان الواحد (ليتر) |
|---|---|---|
| البالوعات | 0,7 | 90 |
| الحمام | 0,6 | 125 |
| المغسلة | 0,1 | 10 |
| حوض الغسيل للمطبخ | 0,2 | 20 |
| المرحاض | 0,1 | 10 |

| | | |
|---|---|---|
| غسالة الألبسة | 5,45 | 135 |
| غسالة أواني المطبخ | 0,50 | 45 |

جدول 3 : تدفق وحجم مياه الصرف الناتجة عن المرافق المختلفة في المنزل

ونجمل في الجدول 4 مخلفات الانسان الواحد يومياً :

| | | | |
|---|---|---|---|
| الحجم الأعظمي | 150 ليتر | MVS | 40 - 30 |
| $DBO_5$ | 60 - 50 | $NH_4^+ - N$ | 15 - 9 |
| DCO | 130 - 100 | P ( فوسفور ) | 6 - 2 |
| MES | 50 - 40 | | |

حمولة بكترية مقدرة بعدد كوليفورم البرازية في 100 مل ماء $10^8$ - $10^{10}$

جدول 4 : مخلفات الإنسان الواحد مقدرة بالغرام في اليوم الواحد .

## 1 - 2 ـ مياه غسيل الساحات والشوارع :

تحوي المياه الناتجة عن غسيل الساحات العامة والشوارع مواد دسمة وزيوت اضافة إلى المواد الصلبة المعلقة من تراب وفحم وغيره. ولا يمكن اعطاء فكرة عن محتويات تلك المياه من المواد الملوثة لأنها تختلف بشكل كبير بين المدن الصناعية وغير الصناعية والمدن الساحلية والداخلية وكذلك فإنها تختلف بين فصل وآخر أضف إلى كل ذلك العامل الحضاري.

## 1 - 3 ـ مياه الصرف الصناعية :

تحوي مياه المجارير العامة على نسبة لا بأس بها من مياه الصرف الصناعية

النـاتجـة عن بعض الصنـاعات الصغيرة المتمركزة داخل المناطق السـكنية . ويتغير تركيب تلك المياه من صناعة لأخرى وسيتم بحثها بالتفصيل في فصل لاحق .

## 1 - 4 ـ المياه النقية المتسربة إلى المجارير العامة :

يتسـرب إلى المجـاريـر العامة مياه نقية قادمة من ينابيع أو قنوات مائية تحت سطـح الأرض ، وتصب بشكـل مبـاشر ضمن المجارير العامة ، وتتعلق كمية تلك المياه بعوامل كثيرة أهمها :

- مستوى قنوات مياه المجارير بالنسبة إلى مستوى المياه الجوفية .
- نوعية المواد المصنوعة منها المجارير ( اسمنت ، تراب ، . . . )
- نفاذية التربة .

ونذكر على سبيل المثال أن مياه المجارير العامة في ألمانيا الاتحادية تحوي على نسبة تصل إلى 30٪ من المياه المتسـربة .

## 1 - 5 ـ مياه الأمطار :

تتجمـع ميـاه الأمطـار المتسـاقطـة على المناطق السكنية في المجارير العامة حاملة معهـا الأوسـاخ المـوجودة في الجو وعلى السطوح المتساقطة عليها أو المتدفقة عبرها . ولذلك فإن هناك اختلافاً كبيراً في كمية تلك المياه ودرجة تلوثها من منطقة لأخرى ولا يمكن اعطاء معدلات عامة لها .

نوجـز في الجـدول التـالي ( جـدول 5 ) النتائج التحليلية لمياه المجارير العامة لتجمع سكاني يعطي 150 ليتر يومياً للانسان الواحد .

جدول ٥

| نوعية الملوثات | معدنية | عضوية | كلية | $DBO_5$ |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| مواد معلقة تفصل بالترقيد | 130 | 270 | 400 | 130 |
| مواد معلقة لا تفصل بالترقيد | 70 | 130 | 200 | 80 |
| مواد منحلة | 330 | 330 | 660 | 150 |
| مجموع المواد الصلبة المتبقية | 530 | 730 | 1260 | 360 |

جدول 5 : تركيب مياه الصرف بالغرام في المتر المكعب الواحد

## 2 ـ مواصفات مياه الصرف :

تحوي مياه الصرف العامة على مواد معدنية ومواد عضوية منحلة أو محمولة ضمن تيار الماء على شكل معلق غروي أو مواد طافية على السطح. كما تحوي مياه المجارير العامة أجسام حية دقيقة تلعب دوراً أساسيا في عمليات التحلل العضوي الهوائية أو عمليات التخمر اللاهوائية بينما يشكل بعضها مصدراً للأمراض المعدية.

تقاس درجة تلوث مياه المجارير بتحديد معدلات مختلفة منها الكمية المتدفقة من تلك المياه أو الطلب الكيميائي الحيوي للأكسجين، بينما يستخدم الطلب الكيميائي كمقياسا للتلوث الناتج عن المخلفات الصناعية السائلة.

### 2 - 1 ـ التدفق :

تختلف كمية مياه الصرف الناتجة عن الانسان الواحد نتيجة عوامل عديدة أهمها نوعية المساكن (ريفية أو حضرية) وتعداد السكان في المنطقة المدروسة

وكمثال على تأثير عدد السكان على التدفق نورد فيما يلي الأرقام التي تم الحصول عليها في فرنسا :

| عدد السكان | مياه الصرف الناتجة عن الفرد يوميا |
|---|---|
| أقل من 10000 | 150 ليتر |
| 10000 - 50000 | 200 ليتر |
| أكثر من 50000 | 250 - 500 ليتر |

ويختلف التـدفق أيضـاً باختـلاف الـوقت مما يضطـرنـا إلى التعبـير عن التـدفق بمعيـارين هما : التـدفق النهـاري Qd أو متـوسـط التـدفق اليـومي Qm ، وتعطي العـلاقتـان التـاليتـان قيمـة كل منهما بدلالة الكمية الكلية المتدفقة خلال يوم واحد ( QJ ):

$$Qm = \frac{Qj}{24} \qquad Qd = \frac{Qj}{14}$$

حيث تمثل Qd متوسط الكمية المتدفقة خلال ساعة واحدة من النهار، Qm متوسط الكمية المتدفقة خلال ساعة من اليوم بكامله .

## 2 - 2 ـ الطلب الكيميائي الحيوي للأكسجين :

يتعلق تركيز $DBO_5$ في مياه المجارير بعدد السكان ومستوى المعيشة وكذلك بالوقت خلال اليوم الواحد، وتتراوح كمية $DBO_5$ المطروحة من قبل الانسان الواحد في فرنسا يومياً 60 إلى 70 غ .

## 2 - 3 ـ المواد المعلقة :

تعـبر MES عن المـواد الصلبـة المعلقة في الوسط المائي وتتراوح نسبتها بين 70 إلى 80 غ للفرد الواحد يومياً .

ونوجز في الجدول 6 متوسط المعايير السابقة في عدد من دول العالم :

| الدولة | التدفق ليتر للفرد الواحد يومياً | $DBO_5$ غ للفرد الواحد يومياً | MES غ للفرد الواحد يومياً |
|---|---|---|---|
| ايطاليا | 350 - 150 | 70 | 80 |
| كندا ـــ الولايات المتحدة الأمريكية | 500 - 400 | 100 - 80 | 120 - 100 |
| اليابان | 500 - 300 | 84 - 64 | 76 - 58 |
| سويسرا | 500 | 75 | 100 |

جدول 6 : متوسط معايير التلوث لمياه المجارير العامة لبعض الدول

## 3 ـ تأثير مياه الصرف الصناعية على المجارير العامة :

يؤدي وجود مواد عضوية غير قابلة للتحليل الحيوي أو مواد كيميائية مرجعة أو مثبطـة للفعـل الحيوي الى ارتفاع النسبة D C O/DBO وبالتالي وجود دليل على التلوث بالمخلفات الصناعية السائلة . تزداد باستمرار نسبة مياه الصرف الصناعية المتدفقة إلى المجارير العامة نتيجة التوسع المستمر في بناء المنشآت الصناعية ولكون المعـالجـة المـوحدة أقل كلفة من المعالجة المنفصلة فإن عدداً كبيراً من تلك المنشآت

الصنـاعيـة تقـذف بمخلفاتها مباشرة إلى المجارير العامة دون اجراء تصفية كاملة لها. ولكن نتيجـة وجـود بعض المـواد الكيميائية السامة أو المثبطة للفعل الحيوي، فلا بد من اجـراء عمليـات تصفيـة أوليـة في عدد من الصنـاعات وذلك قبل طرح مخلفاتها في المجارير العامة. وهناك شروط محددة موضوعة من قبل الهيئات المختصة لميـاه الصـرف الصنـاعيـة المسموح بتدفقها في المجارير العامة. يمكن دراسة نسبة وتأثـير الفضـلات السـائلة الصنـاعيـة على مياه المجارير العامة من خلال مقارنة بعض المعايير العامة لتلك المياه مع مياه الصرف المنزلية:

1 ـ **مقارنة كمية الآزوت**: يشكل الآزوت الكلي 15 إلى 20٪ من قيمة $DBO_5$ في ميـاه الصـرف المنـزلية، وبالتالي فإن أي تغيير لتلك النسبة في مياه المجارير العامة يمكن اعادتها إلى وجود نسبة من مياه الصرف الصناعية.

2 ـ **PH الوسط**: تكون قيمة PH مياه الصرف المنزلية قريبة من التعادل (7 إلى 7,5)، وبالتالي فإن تغير قيمة PH الوسط لمياه المجارير العامة تكون ناتجة عن مياه الصرف الصناعية.

3 ـ **كمـون الأكسـدة والارجـاع** ($E_H$): تملك ميـاه الصرف المنزلية كمون أكسدة وارجاع قدره + 100 ميلي فولط تقريباً. فإذا كانت قيمة كمون الأكسدة أقل من + 40 ميـلي فولـط فإن ذلـك دليـل على وجـود وسـط مرجع (عمليات تخمر لا هوائية، وجود مواد كيميائية مرجعة). أما إذا كانت قيمة كمون الأكسدة والارجاع أعلى من + 300 ميلي فولط فإن الوسط مؤكسداً ويمكن تفسير ذلك بوجود كميات كبيرة من المواد المؤكسدة الناتجة عن المخلفات الصناعية السائلة.

4 ـ **السمـوم والمثبطـات**: تحوي بعض أنواع مياه الصرف الصناعية مركبات سامـة للفعـل الحيـوي أو مثبطـة له. فإذا تواجـد في الوسط كميات قليلة (0,1 مغ / ليـتر) من شوارد النحـاس أو الكـروم أو الكـادميـوم تتنـاقص بشكـل كبير فعالية البكـتريـا في الـوسـط المـائي. بينما وجود الكبريت بتراكيز عالية (25 مغ / ليتر) يؤدي إلى توقف كامل للفعل البكتري، ومن أهم المواد السامة المتواجدة في مياه

الصرف الصناعية نذكر السيانور والمركبات الحلقية الهيدروكسيلية وبعض المواد الصيدلانية (مضادات حيوية).

5- يؤدي تدفق المخلفات الصناعية السائلة في مياه المجارير إلى حدوث خلل في التوازن القائم ضمن الوسط المائي (اختلال في نسبة الآزوت إلى الفوسفور الى المركبات العضوية) أو زيادة في الملوحة أو درجة الحرارة وتؤدي كل تلك العوامل الى اختلال في عملية التحلل الحيوي.

# الفصل الثالث

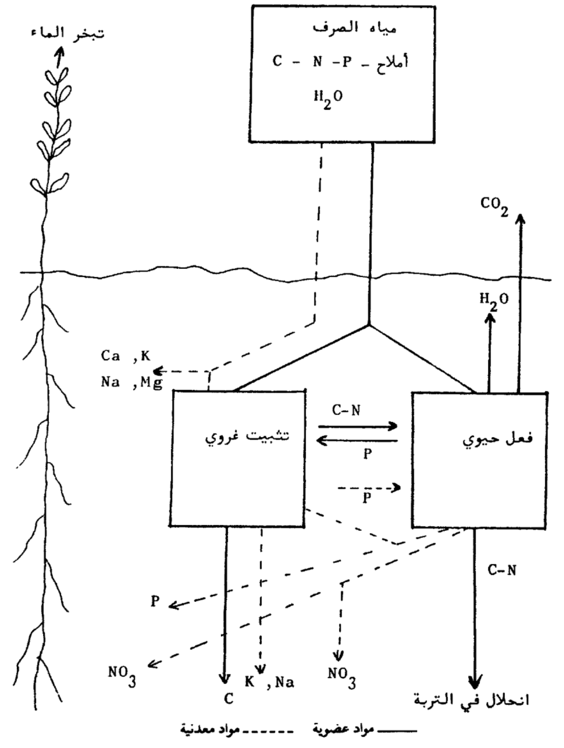
# تصفية مياه الصرف بواسطة التربة

## 1 ـ مقدمة :

تشكل التربة وسطاً حيوياً طبيعياً قادراً على تصفية مياه الصرف والتخلص من المواد الملوثة المنحلة أو المعلقة ضمن تلك المياه. ويوضح الشكل التالي (شكل 1) الأفعال المختلفة لنظام تصفية المياه بواسطة التربة.

وقد استعرضنا في الفصل الأول تاريخ تلك الطريقة والتي استخدمت لأول مرة في عام 1860 وظلت تستعمل لفترة طويلة (40 عاماً) كطريقة وحيدة لتصفية مياه الصرف. غير أن ظهور طرق المعالجة الأخرى (حيوية ـ فيزيائية كيميائية) أدى إلى تراجعها بل واختفائها تماماً في الكثير من البلدان، ولكنها عادت للظهور من جديد (قبل عشر سنوات) على شكل حقول محدودة في عدد من بلدان العالم مع تعديلات للطريقة القديمة من أجل استغلال أفضل للمياه في ري المزروعات.

أنشىء حقل REIMS في فرنسا عام 1885 لتصفية مياه الصرف وما زال يستعمل حتى يومنا هذا مع ارتفاع في طاقته حيث وصلت إلى 40 ألف متر مكعب يومياً حالياً. وينقسم حقل Reims إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي :




شكل 1 الأفعال المختلفة لنظام تصفية المياه بواسطة التربة

380 هيكتار من الأراضي المخصصة للزراعات المتعددة

120 هيكتار مخصصة لزراعة الحور

80 هيكتار كمستنقع للمعالجة

وقد جهز الحقل بنظام القنوات المغمورة تحت سطح الأرض والحاوية على فوهات متصلة بمنظم خاص يسمح بتوزيع مياه الصرف على الأقسام المختلفة من الحقل بشكل منظم. تتم عملية إرواء الأراضي المتعددة الزراعات لمدة 8 أشهر في العام، بينما تُروى المنطقة المتبقية على مدار العام.

تترافق حالياً طريقة التصفية بواسطة التربة مع أبحاث وتجارب للتخلص من سلبياتها وتطويرها بحيث تتناسب مع عصر تزداد فيه الحاجة للماء وتتطور فيه أيضاً حملة محاربة التلوث. وتُجرى دراسات على حقل Gironde في فرنسا والذي يستخدم لارواء أرض زراعية بمياه الصرف بعد معالجتها فيزيائياً فقط. ويبلغ معدل مياه الصرف المستخدمة في هذا الحقل 150 ألف ليتر يوميا تتعرض للمعالجة الأولية التالية:

ـ تمرر المياه على شبك معدني (أبعاد فوهاته 2 سم) للتخلص من المواد الصلبة الكبيرة الحجم.

ـ حوض لازالة الرمال (طوله 2,5 م وعرضه 1,4 م).

ـ حوض لازالة الزيوت والشحوم الطافية على السطح.

ـ حوض لخزن المياه قبل استعمالها في الري ( 60 م 3 )

تبلغ مساحة الحقل المستعمل 3000م 2 مروية بشكل منظم وباستخدام أجهزة حديثة في عملية الارواء. تجرى عمليات تحليل مستمرة للمياه المستخدمة بشكل مباشر وللمياه المتجمعة في آبار عمقها 1 م وذلك بعد عبور مياه الصرف للطبقات السطحية من التربة وتقارن النتائج لمعرفة التغيرات الحادثة على مياه

الصرف نتيجة اختراقها لسمك قدره 1 متر من التربة المزروعة، كما يتم تحليل التربة بشكل موازي لتحليل المياه. وقد أكدت النتائج المستحصل عليها تخلص مياه الصرف من البكتريا وبعض الأملاح المنحلة بها والتي انتقلت إلى التربة، أما المردود الزراعي فهو أفضل بكثير من الأراضي المروية بمياه نقية.

نلاحظ إذا أن طريقة تصفية مياه الصرف باستعمال التربة عادت من جديد إلى الظهور بعد أن كادت تندثر مع بداية القرن الحالي، غير أن عودتها جائت منظمة وضمن قواعد علمية تتجنب أحداث حالات تلوث وأضرار للبيئة الترابية والهوائية معاً.

نذكر على سبيل المثال بعض الحقول الأخرى التي ما زالت تستعمل حالياً:

- حقل Werribee الذي تغذيه مياه الصرف لمدينة Melbourne بتدفق يتراوح بين 365 و 950 ألف متر مكعب يومياً وتبلغ مساحته 7000 هيكتار.

- حقل Port - Leuate قرب مدينة Perpignan ويتلقى هذا الحقل مياه المجارير العامة الحاملة لمخلفات 25000 ألف نسمة في فصل الشتاء و 60000 نسمة في فصل الصيف. ويتكون الحقل من ستة أحواض سطحها الكلي 4500 متر مربع. أكدت الدراسات الجيولوجية للحقل أن طبقة التربة التي تشكل المرشح البكتري تمتد الى 5,5 متراً في داخل التربة وتقسم الى منطقتين متراكبتين (Superposées). يتدفق الماء في المنطقة العليا بشكل عمودي عليها وتشكل مجالاً جيداً للتحولات الحيوية الهوائية، بينما يتدفق الماء في المنطقة السفلى بشكل أفقي نتيجة كونها مشبعة بالماء ويمكن اعتبارها حوض تجميع وتفريغ للمياه المصفات في المنطقة العليا.

يعطي الجدول 7 النتائج التحليلية لمياه ذلك الحقل قبل وبعد اختراقها للتربة وذلك في عام 1981 .

| المقياس | مياه الصرف الخام<br>مغ / ليتر ( متوسط ) | المياه المتجمعة في الطبقة السفلى<br>مغ / ليتر ( متوسط ) | المردود<br>٪ |
|---|---|---|---|
| MES | 256 | 0 | 100 |
| DCO | 600 | 50 | 98 - 95 |
| $DBO_5$ | 192 | 20 | 90 |
| آزوت | 88 | 50 | 40 - 30 |
| فوسفور عضوي | 36 | 0,01 | 100 |

جدول 7 : نتائج تصفية مياه الصرف في حقل Port - Leuate لعام 1981

## 2 ـ قدرة التربة على تصفية مياه الصرف :

تعتمد طرق التصفية باستخدام التربة الزراعية على تفاعلات حيوية تتم بواسطة تجمعات بكترية مثبتة داخل التربة . ويستخدم لهذه الغاية مساحات شاسعة من الأرض التي تتوفر على شروط معينة أهمها :

ـ عدم وجود مياه باطنية قريبة من السطح .

ـ وجود طبقة سطحية رملية تمتد إلى 1,5 - 2 متر وتحوي على حبيبات رملية تتراوح أبعادها بين 0,2 و 0,3مم .

ـ تتبع الطبقة الرملية بطبقة أخرى أقل نفوذية .

يمكن للهيكتار الواحد من الأرض أن يعالج 1000 متر مكعب من مياه الصرف يومياً على شرط أن تكون تلك المياه قد تعرضت للمعالجة الفيزيائية قبل دخولها الحقل للتخلص من الأجسام الصلبة الكبيرة المحمولة وكذلك الزيوت والشحوم الطافية على السطح .

تتم عملية التصفية بتعويم الماء على السطح بسماكة قدرها 5 إلى 20سم

مرة أو مرتين في اليوم الواحد مع ترك الأرض يومين متتاليين في حالة راحة تامة لكي يتم التخلص من المواد القابلة للتحلل الحيوي بواسطة البكتريا الموجودة داخل التربة والتي يتم تكاثرها نتيجة اختراق مياه الصرف للتربة حاملة معها المواد العضوية المغذية لتلك البكتريا.

تتميز طريقة التصفية باستخدام التربة بما يلي:

- تشكل التربة وسطاً طبيعياً يحوي على جسيمات معدنية ذات سطح نوعي متوسط ومسامات تسمح لعملية الامتزاز أن تحدث بشكل جيد وكذلك للبكتريا أن تتكاثر داخلها بصورة سريعة.
- السطح المستعمل كبيراً جداً ولا يمكن تعويضه بطريقة صناعية.
- تتواجد الأنواع المختلفة للبكتريا بشكل طبيعي داخل التربة.
- تجري عملية التهوية بشكل ذاتي دون الحاجة لاستخدام أجهزة وصرف طاقة.
- يتم الاستفادة من العناصر التي تم حجزها داخل التربة في تغذية النباتات المزروعة داخل الحقل.

## 2-1 ـ تحلل المواد القابلة للأكسدة:

تتحول المواد القابلة للأكسدة بفعل الأجسام الحية الدقيقة الى مركبات معدنية ثابتة بينما تتحول المواد الغير قابلة للأكسدة إلى مركبات الدبال. عندما توجد المركبات العضوية في شروط هوائية فإن الكربون العضوي يتأكسد إلى ثاني أكسيد الكربون بفعل البكتريا الهوائية، بينما تحدث عملية ارجاع له في الشروط اللاهوائية ويتحول إلى غاز الميتان. تحوي التربة على البكتريا اللازمة لعملية الأكسدة الحيوية وفي حالة توفر الاكسجين بكميات كافية داخل التربة تحدث عملية الأكسدة الكاملة للمركبات العضوية وتتحول إلى غاز ثاني أكسيد الكربون

والمـــاء. لنــفــرض أن 2 الـى 3 متر مربـــع من الأرض لها قدرة على الأكــســجــة (Oxygénation) قدرها 130 الى 900 غرام من الأكسجين للمتر المربع الواحد يومياً. وأنها تحوي 100 إلى 200 غرام من الأجسام الحية الدقيقة في المتر المربع الواحد، إن تلك المساحة من التربة قادرة على معالجة مخلفات انسان واحد. إذا فإن المتر المربع الواحد من التربة وفي شروط التحولات الهوائية قادر على تحلل 42,4 غرام من DCO . يتضح مما سبق أن الـتربـة تملك قدرة عاليـة لتصفيـة ميـاه الصـرف بالطريقة الحيوية ولكن يتطلب ذلك فترة تماس كافية لاحداث التغيرات الكاملة.

## 2-2 ـ المركبات الآزوتية:

يوجد الآزوت ضمن مياه الصرف على أشكال مختلفة:

- آزوت عضوي يدخل في تركيب الأجسام الحية الدقيقة.
- آزوت عضوي أو معلق.
- آزوت الأمونيا المنحل.

ونظراً لخطورة وصول الآزوت إلى مياه الآبار المستعملة للشرب فإن تحولات الآزوت في الـتربـة أثناء عملية التصفية مهمة جداً ويجب مراقبة مياه الآبار القريبة باستمرار للتأكد من عدم تسرب الآزوت للمياه الباطنية.

### 2-2-1 ـ احتفاظ التربة بالآزوت:

تحتفـظ الـتربـة مؤقتـاً بالآزوت المـوجـود في ميـاه الصرف، ولا يعتبر ذلك الاحتفـاظ عمليـة تخلص من الآزوت بل مرحلة انتقـاليـة قبـل امتصاصه من قبل النباتات أو تحوله بواسطة التفاعلات الحيوية. وتتم عملية انتقال الآزوت من مياه الصرف للتربة بطرق مختلفة نذكر منها:

ـ ترشيح المياه بواسطة التربة وحجز المواد المعلقة الحاوية على الآزوت في تركيبها وتستقر تلك الجسيمات في الطبقة السطحية للتربة .

ـ امتصاص شعري للمركبات الآزوتية المنحلة في الماء بواسطة الحبيبات الترابية .

ـ امتزاز المركبات الآزوتية على حبيبات التربة .

ـ تدبل المواد العضوية الآزوتية (تحولها إلى مركبات الدبال) بوجود جسيمات حية دقيقه ( Humification ) .

### 2-2-2 ـ النترجة :

تحدث عملية النترجة عند توفر الشروط المناسبة للأكسدة (بيئة هوائية ، PH قاعدي ، درجة حرارة عادية) ويتحول الآزوت العضوي إلى آزوت معدني (نتريت، نترات) . وتقوم البكتريا الهوائية ( Nitrosomonas Nitrobacter ) بعملية الأكسدة مستخدمتا غاز ثاني أكسيد الكربون كمادة كربونية .

### 2-2-3 ـ نزع الآزوت Dénitrification

تشكل عملية نزع الآزوت ارجاع النترات بطريقة حيوية الى غاز أحادي أكسيد الآزوت $N_2O$ ويحدث التفاعل عند توفر الشروط التالية :

ـ وسط لا هوائي

ـ وجود مواد عضوية في الوسط (توجد المواد العضوية بشكل دائم في مياه الصرف) .

ـ درجة حرارة مرتفعة نوعاً ما ( 60 - 65 درجة) .

ـ وسط قلوي .

### 2-2-4 ـ انتقال الآزوت للنباتات :

تؤثر النباتات المزروعة في حقل مروي بمياه الصرف على مصير الآزوت بشكل مباشر وبشكل غير مباشر. حيث يتمثل التأثير المباشر بامتصاص النباتات للأزوت من أجل نموها. بينما يتمثل التأثير الغير مباشر بإيجاد الظروف الملائمة في التربة لأحداث عمليات النترجة وعمليات نزع الآزوت، ففي فترات الجفاف يمتص النبات الرطوبة من التربة مؤدياً إلى زيادة سرعة النترجة، اضافة إلى أن وجود الجذور في الأرض يساعد على عملية التهوية للتربة.

### 2-3 ـ المركبات الفوسفورية والصودية :

تحوي مياه الصرف مركبات فوسفورية ناتجة عن استعمال المواد المنظفة بشكل واسع، وكذلك المركبات الصودية الناتجة عن استعمال كلور الصوديوم أو القادمة من المياه المالحة أو الناتجة عن عمليات إزالة عسر المياه. تتمتع التربة بقدرة عالية على امتصاص المواد الفوسفورية ولذلك فإن تسربها ضعيف جداً كما أن ارتفاع نسبة الصوديوم في مياه الآبار نتيجة تسربها لا تشكل عاملاً ملوثاً. أما الضرر الناتج عن امتصاص التربة للصوديوم فإن يتمثل في تغير بنية التربة وبالتالي تغير فعاليتها الزراعية.

### 2-4 ـ الجراثيم الممرضة :

تظل مشكلة وجود الجراثيم والبكتريا والفيروسات المسببة للأمراض واحتمال تسربها إلى المياه الباطنية قائمة دوماً رغم العديد من الدراسات التي أثبتت قدرة التراب على امتزازها وايقافها ومنع حدوث التلوث في المياه الباطنية. وقد

وجـد تجريبيـا أن طبقـة من الـتر بـة سمكهـا 1 متر وغـير متشققة قادرة على حماية الطبقات الأدنى من التلوث بالجراثيم الممرضة .

# الفصل الرابع

## طرق التصفية الفردية لمياه الصرف المنزلية

تشكل مخلفات المراحيض 15 إلى 25 ليتر للفرد الواحد يومياً والتي تحوي تركيزاً عالية من الكوليفورم البرازية تصل الى $10^{10}$ في 100 مل من ماء المراحيض، كما تحوي 20 الى 30٪ من DBO و DCO الكلية لمياه الصرف المنزلية. أما الآزوت المتواجد في مياه الصرف المنزلية فإن معظمه يأتي مع مياه المراحيض (65٪). يعطي الجدول 8 نموذجاً لتحليل مياه الصرف المنزلية والناتجة عن الاستعمالات المختلفة.

| المقياس غ للفرد يومياً | مياه المراحيض | غسالة أواني المطبخ | حوض المطبخ | غسالة الألبسة | الحمام | المجموع الكلي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $DBO_5$ | 10,7 | 12,6 | 8,34 | 14,8 | 3,09 | 94,53 |
| MES | 12,5 | 5,3 | 4,11 | 11 | 2,26 | 35,17 |
| MVS | 10,2 | 4,5 | 3,84 | 6,5 | 1,58 | 26,62 |
| آزوت كلي | 4,1 | 0,5 | 0,42 | 0,75 | 0,31 | 6,08 |
| آزوت الأمونيا | 1,1 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 1,28 |
| الفوسفور الكلي | 0,6 | 0,8 | 0,42 | 2,15 | 0,04 | 4,01 |
| درجة الحرارة | 18 | 38 | 27 | 32 | 29 | |

جدول 8 : تركيب مياه الصرف المنزلية ( Siegrist 1976 )

## ١ ـ حفرة التعفن : Fosse Septique

عرفت حفرة التعفن منذ فترة طويلة جداً، وتستعمل لجمع وتصفية مياه الصرف المنزلية وخاصة مياه المراحيض، وما زالت القوانين الحالية تتضمن شروط استعمالها ومواصفاتها. غير أن مياه الصرف في العصر الحالي والناتجة عن المناطق

السكنية تحوي مواد مثبطة لفعالية البكتريا مثل المواد المنظفة والمواد الصيدلانية (المضادات الحيوية) مع ارتفاع نسبة الملوحة. إن وجود تلك المواد في مياه الصرف يؤدي إلى اضطراب عملية التحولات الحيوية بشكل كلي أو جزئي تبعاً لنوعية تلك المواد وتركيزها.

### 1 - 1 ـ مراحل عملية التصفية في حفرة التعفن:

تقوم حفرة التعفن بمهمات عديدة منها تجميع مياه الصرف وترقيدها وتحلل المركبات العضوية الموجودة في مياه الصرف بطريقة التخمرات اللاهوائية. يمكن إذا تقسيم الظواهر الحادثة الى نوعين:

**ـ ظاهرة فيزيائية:** تشمل الظاهرة الفيزيائية عملية الترقيد لفصل الجسيمات الثقيلة وعملية التطويف لفصل الجسيمات الخفيفة والزيوت والمواد الدسمة التي تشكل طبقة سطحية تسمى الغطاء الهاضم ( Chapeau de Digestion ) ينغمر منها في الماء 30٪ من سمكها ويبقى 70٪ فوق السطح.

**ـ ظاهرة حيوية:** تتمثل الظاهرة الحيوية بعمليات التخمر اللاهوائية للمواد العضوية الموجودة في مياه الصرف والقابلة للتخمر. تحدث عملية التخمر بفعل بكتريا لاهوائية تحول المركبات العضوية المعقدة إلى حموض عضوية أقل تعقيداً في المرحلة الأولى ومن ثم تحول تلك الحموض إلى غاز الميتان وغاز ثاني أكسيد

الكـربـون وكـبريت الهيدروجين في المرحلة النهائية. تعطي تلك الغازات وبعض الحموض القابلة للتبخر روائح كريهة. تنطلق الغازات الناتجة عن عملية التخمر في قاع الحفـرة للأعلى حاملة معهـا البكـتريـا النشيطة مما يؤدي الى استمرار عملية التخمر في الطبقة السطحية أيضاً وبذلك تتحلل المواد الطافية.

تتعلق فعالية عمليات التخمر في حفرة التعفن بعوامل كثيرة أهمها:

- **سعـة الحفـرة**: يجب أن تكـون الحفرة واسعة بحيث تكفي إلى استيعاب السائل والمواد الطافية والمواد الراسبة.
- **زمن التلامس بين الحمأة والسائل**: يكون عادة زمن التلامس طويلاً جداً ويمثـل الفـترة الـزمنيـة الفـاصلة بين عمليتي تفـريـغ متتاليتين للحفرة ( 2 إلى 3 سنوات). وبـالتـالي فإن عمليـة التخمر تتخامد مع الزمن نتيجة انخفاض درجة الحرارة وتحولات قيمة PH الوسط وتجمع المواد السامة والمواد المثبطة للفعل البكتري.
- **اضطـرابـات هيـدروليـة**: تنتج الاضطـرابـات الهيدرولية عن اختلاف التدفق أثناء استخدام بعض الأجهزة المستهلكة للماء في المنزل (الغسالة، استعمال الحمام، . . ) وتؤدي زيـادة سرعة التدفق إلى السقوط السريع للماء داخل الحفرة وبـالتـالي دفـع الحمأة للسطح. أما تدفق الماء الساخن فإنه يؤدي إلى إذابة جزئية للمواد الدسمة. ولذلك يجب إقامة حاجز بين فوهة التدفق وسطح المياه المتجمعة داخل الحفرة للتخلص من الاضطرابات الهيدرولية.
- **درجـة الحـرارة**: تتـوقـف عمليـات التخمر في درجة حرارة أقل من 10 م، ولكن درجـة حرارة الحفـرة تظـل أعلى من ذلـك دومـاً نتيجة كونها مغلقة ومعزولة ودرجة حرارة مياه الصرف تتراوح بين 18 - 40م مما يجعل الشروط ملائمة لحدوث عمليات التخمر.
- **طرح المواد السامة مع مياه الصرف**: نظراً لكون تلك المواد قليلة التركيز

ولا تطرح باستمرار في الاستعمالات المنزلية، فإن الأجسام الحية الدقيقة قادرة على مقاومة ذلك العامل بالتكاثر السريع.

- تحولات PH الوسط: تشكل تحولات PH الوسط عاملاً سيئاً بالنسبة لعمليات التخمر علماً أن الوسط القلوي يؤدي إلى تحولات جيدة.

انطلاقاً من تلك المعطيات المؤثرة على عمليات التخمر في حفرة التعفن، فمن الضروري الأخذ بعين الاعتبار أموراً عديدة أثناء استخدام حفرة التعفن:

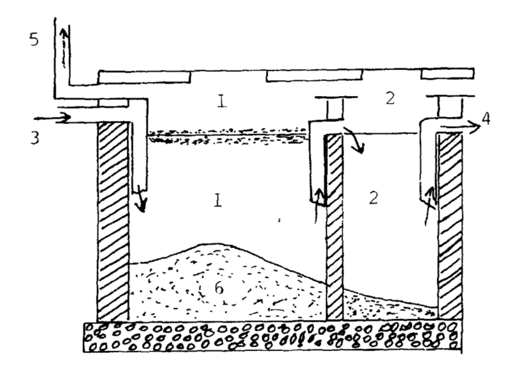
- عدم طرح الأقمشة والورق القاسي ضمن المجارير المائية.
- فصل قنوات مياه الأمطار والمياه المستعملة في عمليات التبريد (في حالة وجود تدفئة مركزية) عن مياه الصرف إن وجودها يؤدي إلى تغيرات مفاجئة في درجة الحرارة وإلى تمديد الوسط مما يؤدي إلى تناقص معتبر لفعالية التفاعلات التخمرية.
- التخفيف قدر الامكان من طرح الزيوت والفحوم الهيدروجينية (بنزين، مازوت، زيوت وشحوم، . . .).

## 1 - 2 - بناء حفرة التعفن:

يتم انشاء حفرة التعفن بالقرب من المنزل، وتتألف الحفرة من حجرتين 1 و 2 (شكل 2).

تتلقى الحجرة 1 مياه الصرف وتمثل ثلثي الحجم الكلي للمنشأة. كما يمكن تصميم الحفرة على شكل ثلاث حجرات تكون نسب حجومها على التوالي 1:3: 6 تصب مياه الصرف في الحجرة 1 بواسطة أنبوب يصل إلى مسافة داخل الحجرة تسمح لمياه الصرف بالتدفق داخل السائل مباشرة لتجنب حدوث الاضطرابات

الهيـدروليـة نتيجـة السقـوط القـوي ، ولـذلـك يجب أن تكون نهاية الأنبوب تحت مسـتـوى سطـح المـاء مع وجـود انعطاف في الانبوب ليظل مملوء بالماء كي لا يسمح لغازات التخمر بالخروج عبر الأنبوب والوصول إلى بالوعات المنزل الداخلية .




1 و 2 حجرتي حفرة التعفن . 3 ـ المياه الخام . 4 ـ المياه المعالجة .
5 ـ الغازات المنطلقة والناتجة عن عمليات التحلل اللاهوائي .
6 ـ الحمأة الراسبة .

شكل 2 : حفرة التعفن المصنوعة من الاسمنت .

يمـر السـائـل من الحجرة 1 إلى الحجرة 2 إما بواسطة فتحة لا يقل اتساعها عن 0,01م 2 وتكـون على ارتفـاع يعـادل 2 / 3 من الإرتفـاع الكـلي للحجـرة ، أو

بواسطة أنبوب منغمر داخل السائل في الحجرة 1 بحيث يسمح بتدفق السائل المصفى عبره. يجب أن تكون فتحة الانبوب واقعة تحت سطح الطبقة الطافية وفوق سطح الطبقة الراسبة. يشكل غاز الميتان والغازات الأخرى المنطلقة والناتجة عن عملية التخمر خطراً حقيقياً على سير عملية التخمر، ولذلك يجب السماح لها بالخروج الحر عبر أنابيب خاصة مجهزة بساحبات للغازات وتمتد تلك الأنابيب الى ارتفاع يفوق ارتفاع المسكن كي لا يؤدي إلى تلوث مباشر للهواء.

## 1 - 3 ـ القياسات المطلوبة لحفرة التعفن:

تتعلق السعة المفيدة لحفرة التعفن بعوامل كثيرة نذكر منها:

- عدد السكان أو بشكل آخر عدد الغرف في المسكن.
- كمية مياه الصرف المتدفقة.
- الفترة الزمنية الفاصلة بين تفريغين متتاليين للحفرة (عامين أو ثلاثة أعوام).

تعتبر السعة المفيدة الجيدة لحفرة التعفن 200 ليتر للانسان الواحد في العام، على أن يكون الارتفاع أعلى من 1 متر. فإذا كان عدد السكان 4 أشخاص وتتم عملية التفريغ مرة كل ثلاثة أعوام فيجب أن يكون حجم الحفرة 2400 ليتر على الأقل، وذلك لكون الرواسب الناتجة عن الانسان الواحد تقدر بـ 100 ليتر سنوياً وبالتالي يجب أن يكون حجم الحجرة ضعف الحجم المحتل من قبل المخلفات الراسبة. يعطي الجدول 9 الأبعاد الواجب التقيد بها لبناء حفرة التعفن وقد تم الحصول عليها انطلاقا من الحسابات الواردة أعلاه.

| عدد السكان | 4 - 1 | 5 | 6 | 8 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|
| السعة المفيدة ( ليتر ) | 2400 | 3000 | 3600 | 4800 | 6000 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| السعة المفيدة للحجرة 1 ( ليتر ) | 1600 | 2000 | 2400 | 3200 | 4000 |
| السعة المفيدة للحجرة 2 ( ليتر ) | 800 | 1000 | 1200 | 1600 | 2000 |
| الحد الأدنى لارتفاع الماء ( متر ) | 1,25 | 1,30 | 1,40 | 1,50 | 1,60 |
| الحد الأدنى للارتفاع الداخلي ( متر ) | 1,55 | 1,60 | 1,70 | 1,80 | 1,90 |
| سطح الحجرة 1 ( م² ) | 1,28 | 1,54 | 1,7[illegible] | 2,13 | 2,50 |
| سطح الحجرة 2 ( م² ) | 0,64 | 0,77 | 0,86 | 1,07 | 1,25 |

جدول 9 : أبعاد حفرة التعفن في حالة حدوث عملية التفريغ مرة كل ثلاثة أعوام .

لا تحتاج حفرة التعفن إلى أية صيانة خلال فترة استخدامها سوى عملية التفريغ (مرة كل 2 إلى 3 أعوام) . يحتفظ عادة بنسبة 20٪ من الحمأة الموجودة في الحجرة 1 عند عملية التفريغ ، بينما تفرغ الحجرة 2 تماماً . يضاف أحياناً مواد مساعدة على التخمر على شكل مزارع بكتريية أومواد أنزيمية مغذية لنمو البكتريا وكذلك مواد مساعدة على حلمهه المواد الدسمة .

## 2 ـ المرافق الملحقة بحفرة التعفن :

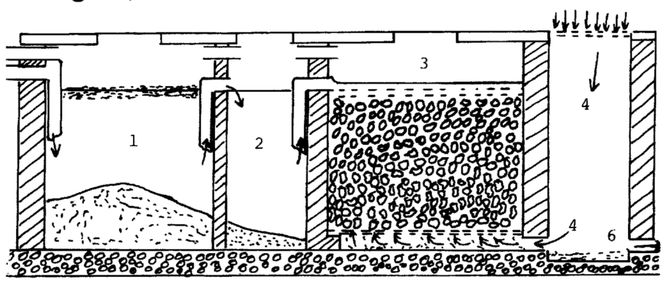
### 2 - 1 ـ المرشحات البكترية :

تخرج المياه المعالجة من حفرة التعفن وقد تخلصت من قسم كبير من المركبات العضوية المنحلة والمعلقة، ولكن يمكن متابعة عملية التصفية بإضافة

مرشح بكتري بشكل متصل مع حفرة التعفن أو بشكل منفصل عنها.

أ ـ مرشح بكتري هوائي:

يستعمل هذا النوع من المرشحات بشكل واسع ويتم بداخله تفاعلات الأكسدة الهوائية للمركبات العضوية المنحلة في المياه الخارجة من حفرة التعفن. يوضح الشكل 3 مرشح بكتري متصل مع حفرة التعفن. يمر الماء القادم من حفرة التعفن عبر أنبوب مثقوب من جهته السفلى الملامسة لسطح المرشح البكتري، وتخرج المياه من تلك الثقوب لتتساقط على شبك معدني يساعد على توزعها على سطح المرشح. يحوي المرشح بداخله مواد حبيبية (فحم، رماد الفحم الحجري، جفاء مطحون، بزولان). وتكون أبعاد تلك الحبيبات 40 إلى 80 مم وارتفاع




1 و 2 ـ حجرتي التعفن، 3 ـ المرشح البكتري الهوائي، 4 ـ الهواء، 5 ـ الماء الخام
6 ـ الماء المصفى

شكل 3 : المرشح البكتري الهوائي الملحق بحفرة التعفن

الطبقة المرشحة 80 سم على الأقل وحجمها 1 متر مكعب على الأقل ( 1,5 متر

مكعب على الأقل لمنزل مؤلف من 6 غرف).

يوجد في أسفل المرشح شبك يحمل الطبقة المرشحة وتمر عبره المياه المصفاة إضافة إلى دخول الهواء من الأسفل إلى الأعلى، وينظف المرشح مرتين في العام.

يلخص الجدول 10 النتائج المستحصل عليها من دراسة مرشح هوائي يحوي بداخله الرمال كمادة مرشحة بحيث تكون أبعاد حبيبات الرمال محصورة بين 0,25 و 0,60مم وارتفاع طبقة الرمل 70 سم مع وجود طبقتين من الحصى أعلى

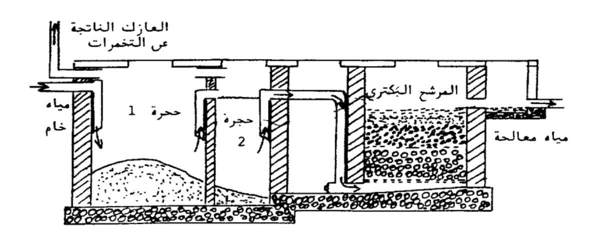
| المقياس | المياه الخارجة من الحفرة | المياه الخارجة من المرشح |
|---|---|---|
| فوسفور كلي | مغ / ل 14,2 | 8,2 |
| فوسفور منحل | مغ / ل 10,7 | 7,6 |
| مواد معلقة | مغ / ل68 | 11 |
| $DBO_5$ | مغ / ل 169 | 1,8 |
| DCO | مغ / ل 344 | 22 |
| $NH_4^+ — N$ | مغ / ل 49 | 1 |
| NTK — N | مغ / ل 63 | 1,9 |
| $NO_2 — N$ | مغ / ل 0,02 | 0,11 |
| $NO_3 — N$ | مغ / ل 0,15 | 32,2 |
| كوليفورم كلي | $10^6.37$ | 428 |
| كوليفورم برازي | $10^6.0,74$ | 25 |

جدول 10: فعالية المرشح البكتيري الهوائي الملحق بحفرة التعفن

الطبقة الرملية وأسفلها، علماً أن سرعة تدفق المياه 7,2 ليتر للمتر المربع من سطح المرشح يومياً.

### ب) ـ مرشح بكتري لاهوائي:

تتم عملية التصفية داخل المرشح البكتري اللاهوائي (شكل 4 ) بواسطة التفاعلات المرجعة (التخمرات اللاهوائية) والتي ينتج عنها غاز الميتان وغاز




شكل 4

المرشح البكتري اللاهوائي الملحق بحفرة التعفن

الكربون وكبريت الهيدروجين كمركبات نهائية. وللمرشح البكتري اللاهوائي ميزات عديدة نذكر منها:

ـ يدخل الماء الى المرشح من الأسفل للأعلى ولذلك لا يحتاج إلى نظام لتوزيع السائل كما ورد في المرشح البكتري الهوائي.

ـ تنتج العمليات الحيوية اللاهوائية كمية من الرواسب أقل بكثير مما تنتجه العمليات الهوائية، مما يجعل الفترة الفاصلة بين عمليتي غسيل متتاليتين تصل إلى 18 شهراً عوضاً عن 6 شهور في حالة المرشح الهوائي.

ـ يخرج الغاز المتشكل مع الماء ولا حاجة لوضع أجهزة خاصة لسحب الغازات.

يتكـون المرشـح من طبقـة من الحصى سمكهـا 0,7 إلى 0,9 متر ومغطـات بطبقـة من الحصى الأصغـر حجـماً بحيث يكـون سمكهـا 7 إلى 10 سم ، وتكون السعـة الكليـة للمـرشح 150 ليتر للانسان الواحد المقيم في المنزل على أن لا يقل الحجم الكلي للمرشح عن 600 ليتر .

## 2 - 2 ـ أحواض فصل الزيوت والشحوم :

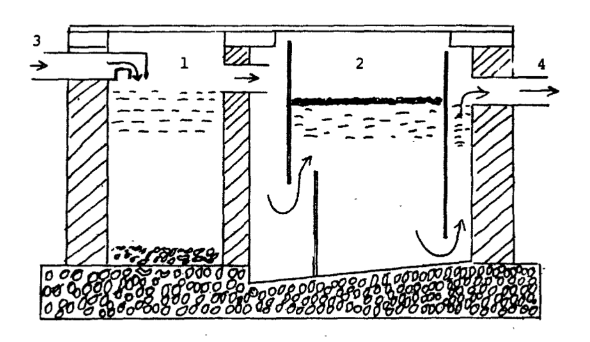
اختلفت الآراء حول فائـدة وضـع حوض فصـل الـزيـوت والشحـوم لميـاه الصـرف المنـزلية قبل دخولها إلى حفرة التعفن . ولكي يؤدي الحوض دوره بشكل جيـد لا بد من أن يتنـاسب حجمـه مع حجم حفرة التعفن مع الحفاظ على ثبات الطبقـة العـائمة (الزيوت والشحوم) . ونظراً لكون فترة الترقيد محدودة ضمن هذا الحـوض فإن العمليـات الحيـويـة مهملة في ذلـك الحـوض ويتلخص دوره بإزالـة الطبقـة الشحميـة ولـذلـك قد لا يتنـاسب ذلـك مع التكـاليف الـلازمـة لانشائه ولصيـانتـه ولكن ذلـك يصبح ضرورياً عندما يتضمن السكن على مصلحة معينة منتجة لكمية كبيرة من الزيوت أو الشحوم .

يوضـح الشكـل 5 مخططاً لحوض فصـل الـزيـوت ذو حجم قدره 270 ليتراً وسطـح قدره 0,375 متر مربـع ( 25,. × 1,5 متر) بحـيـث يعطـي زمن تماس داخل الحوض قدره 180 ثانية .

## 2 - 3 ـ التصفية تحت سطح الأرض L Epandage Souterrain :

تشكـل طريقـة حفرة التعفن مرحلة أولية وأساسية في عملية التصفية ولكنها غير كافيـة لاعطـاء مياه معالجة بشكل جيد ، وبناء على ذلك يجب متابعة المعالجة باستعـمال التصفيـة تحت سطح الأرض وباستخدام قنوات خاصة بذلك ومصنوعة

ضمن شروط وقياسات محددة لتجنب حدوث تلوث سطحي أو انهيار في التربة أو تلوث لمياه الشرب الباطنية. لذلك يسبق المشروع دراسة جيولوجية لطبيعة الأرض.




1 ـ حوض الترويق، 2 ـ حوض ازالة المواد الدسمة الطافية، 3 ـ دخول الماء الخام
4 ـ الماء المعالج

شكل 5
مخطط لمصفى المياه الحاوي على حوض الترقيد وحوض ازالة المواد الدسمة الطافية والمبني من الاسمنت

يوضح الشكل 6 توزع الماء في الطبقة السطحية من الأرض، ونلاحظ وجود منطقتين أساسيتين يفصل بينهما مستوى الماء الباطني ( Piézométrique Niveau ) . تكون المنطقة الأولى قريبة من سطح الأرض مما يجعلها وسطاً مناسباً للتفاعلات

الهوائية وتنقسم إلى ثلاثة أقسام :

1 ـ القسم الأسفل ويسمى المنطقة الشعرية وتحوي المياه المنتقلة بواسطة الخاصة الشعرية ويتراوح سمكها بين عشرات السنتيمترات في التربة النفوذة إلى 4 أمتار في التربة القليلة النفاذية .

2 ـ القسم المتوسط ويسمى الطبقة الحاجزة ويتراوح سمكها بين عدد من السنتيمترات و 2متر رغم وجود حالات استثنائية يصل بها سمك تلك الطبقة إلى 20 متر أو تنعدم تماماً .

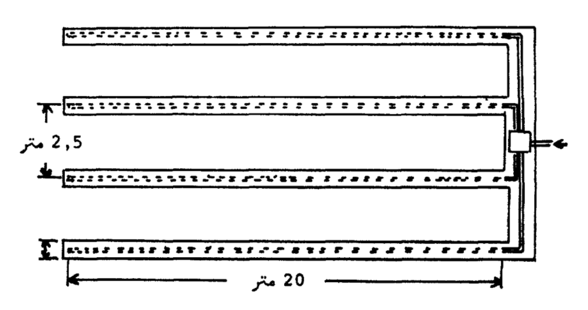
| منطقة المياه المعلقة | منطقة تبخر المياه<br>المنطقة الحاجزة<br>المنطقة الشعرية | مستوى المياه | منطقة التهوية |
|---|---|---|---|
| منطقة المياه الباطنية | طبقات ممتلئة بالماء | الباطنية<br>الطبقة التحتية | منطقة الاشباع |

شكل 6
توزع الماء في الطبقة السطحية من الأرض

3ـ القسم العلوي أو الطبقة السطحية وهي على اتصال مع الجو الخارجي وبـذلـك تفقـد مائها إما نتيجة التبخر أو نتيجة امتصاص النباتات لمياهها ويتراوح سمكها بين 2 إلى 3 متر.

أما المنطقة الثانية فإنها تقع بين مستوى الماء الباطني الذي يحدها من الأعلى والطبقة التحتية ( Toit du Substratum ) التي تحدها من الأسفل وتسمى بالمنطقة المشبعة ( Zone de Saturation ) وتشكل وسطاً لا هوائياً وهي ممتلئة بالمياه الباطنية.

تحفـر القنـوات تحت سطح الأرض ويكون عمقها 0,5 إلى 0,7 متر وعرضها 0,3 إلى 0,6 متر في الأراضي الرملية و 0,6 إلى 0,8 متر في الأراضي الترابية الناعمة ويمتد طولها إلى 20 متر. وتكون المسافة الفاصلة بين قناتين متوازيتين 2 إلى 2,5 متر (شكل 7). تمر عبر تلك القنوات المياه القادمة من غرفة التوزيع بعد مرحلة التصفيـة في حفـرة التعفن أو بعـد خروجهـا من المرشح البكتري في حالة وجوده. وتكـون الميـاه محمولة ضمن أنابيب مصنوعة من الاسمنت أو الفخار أو البلاستيك




شكل 7 امتداد الأنابيب الناقلة لمياه الصرف بطريقة التصفية تحت سطح الأرض

أقطارها تتراوح بين 80 إلى 100 مم ومثقوبة من الأسفل لخروج الماء منها (المسافة بين ثقبين متتاليتين 20 إلى 30 سم). يعطي الشكل 8 مخططات كاملة لنظام توزيع مياه الصرف في حالة التصفية تحت سطح الأرض. نلاحظ أن الأنابيب تستقر ضمن طبقة من البحص سمكها 30 سم والتي تقع بدورها فوق طبقة من الرمل الناعم (سمكها 5 سم). يوضع فوق طبقة الحصى التراب إلى مستوى أعلى من سطح الأرض بقليل بحيث يكون سمكها 20 إلى 40 سم، وتكون تلك الشبكة مستوية تقريباً لكي يتم التوزيع بشكل جيد. تعطي العلاقة التالية سطح الأرض اللازم لتصريف المياه بهذه الطريقة:

$$A = \frac{KD}{C}$$

حيث: A ـ السطح اللازم مقدراً بالمتر المربع.

D ـ تدفق مياه الصرف مقدرة باللتر يومياً.

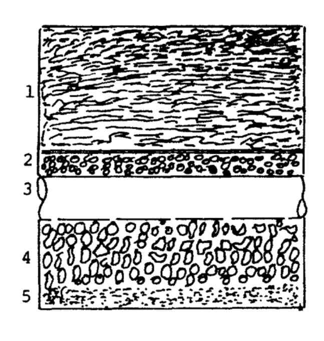
K ـ معامل يتعلق بنوعية مياه الصرف ويمكن الحصول عليه من العلاقة التالية:

$$K = \frac{DBO_5(mg/1) + MES\,(mg/1)}{120}$$

وتكون قيمة K عادة أكبر أو مساوية للواحد.

C ـ الضغط الهيدرولي ويتعلق بسرعة الترسب داخل التربة.

تتطلب عملية التصفية تحت سطح الأرض مساحات كبيرة نوعاً ما وشروط محددة للتربة (نفوذية متجانسة ومستوى المياه الباطنية أعمق من 1 متر) وفي حالة عدم توفر تلك الشروط يغدو تطبيق تلك الطريقة غير ممكن، ولذلك تجري عليها بعض التعديلات أو تعوض بطريقة أخرى.




شكل 8
مقطع عمودي للطبقات
التي يمر بداخلها الانبوب
الحامل لمياه الصرف

1 ـ تربة زراعية
2 ـ رمال
3 ـ الانبوب
4 ـ بحص
5 ـ رمل ناعم

## 2 - 4 ـ طريقة حوض الامتصاص :

تعتمد طريقة حوض الامتصاص على تجميع مياه الصرف القادمة من حفرة التعفن وتصفيتها ثم طرحها من جديد . وتعتمد عملية التصفية على امتصاص العناصر الموجودة في مياه المياه بواسطة النباتات . يكون الحوض أفقياً ويتراوح عمقه بين 0,6 إلى 0,8 متر ويعلو عن سطح الأرض بمقدار 10 سم لتفادي تدفق مياه الأمطار إليه (شكل 9 ) ويتكون من عدة طبقات متتالية مرتبة من الأسفل إلى الأعلى كما يلي :

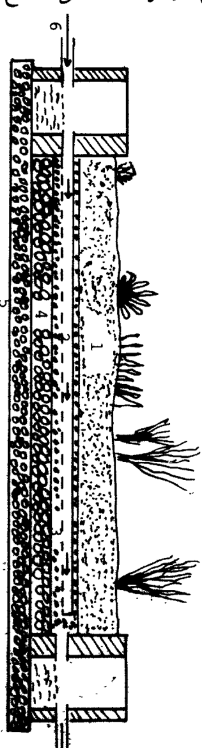
ـ طبقة من الحجارة الغير كلسية سمكها 0,2 متر .

ـ طبقة من الحصى الناعم سمكها 0,1 متر ومغطاة بطبقة نفوذة تسمح للماء بالصعود إلى الأعلى .

ـ طبقة من التربة الزراعية سمكها 30 الى 50 سم .

يزرع في الحوض النباتات القادرة على امتصاص العناصر المعدنية المنحلة

في مياه الصرف والناتجة أيضاً عن التحلل الحيوي (آزوت، فوسفور). يتعلق سطح الحوض بعدد السكان ويصمم على أساس 2 متر مربع للساكن الواحد على ان يكون الحد الأدنى للسطح 8 متر مربع. يسيل الماء الزائد الى الأسفل ويمر عبر



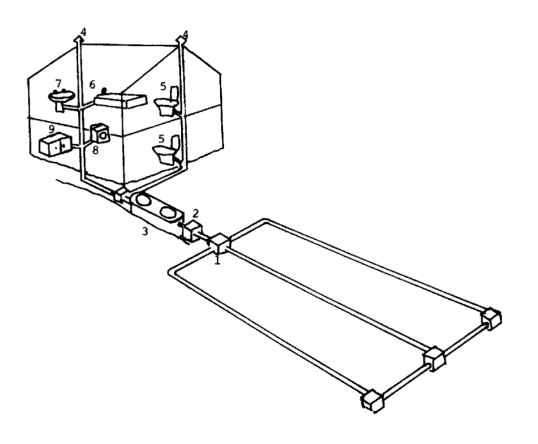

1 - تراب صالح للزراعة، 2 - انبوب نقل المياه المثقوب من جهته السفلى
3 - طبقة من الحصى الصغير، 4 - طبقة من الحصى الكبير، 5 - اسمنت
6 - المياه الخام، 7 - المياه المعالجة

شكل 9

معالجة المياه بطريقة حوض الامتصاص

طبقة الحصى ويخرج إلى خزان مصمم ليحافظ على مستوى معين للمياه داخل الحوض (راجع شكل 9) وتخرج المياه من الطرف الآخر لتصب في المياه السطحية أو لتستعمل في ري المزروعات.

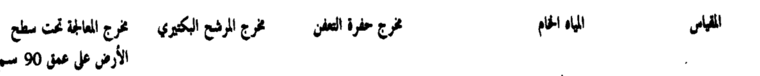
نورد في الجدول 11 نتائج ميدانية لطريقة حفرة التعفن وملحقاتها مع توضيح المخطط العام لتلك الطريقة في الشكل 10.




1 ـ حجرة التوزيع، 2 ـ مرشح أولي، 3 ـ حفرة التعفن، 4 ـ ساحبات الغازات
5 ـ مرحاض، 6 ـ حمام، 7 ـ مغسلة، 8 ـ غسالة الألبسة، 9 ـ المطبخ

شكل 10

**مخطط عام لشبكة معالجة مياه الصرف المنزلية باستخدام حفرة التعفن الملحقة بمرشح ومعالجة تحت سطح الأرض**



| المقياس | المياه الخام | مخرج حفرة التعفن | مخرج المرشح البكتيري | مخرج المعالجة تحت سطح الأرض على عمق 90 سم |
|---|---|---|---|---|
| $DBO_5$ | مغ / ليتر 330 - 400 | 190 | 50 | 0 |
| DCO | مغ / ليتر 650 - 850 | 450 | 240 | - |
| MES | مغ / ليتر 260 - 340 | 70 | 60 | 0 |
| $N - NH_4$ | مغ / ليتر 60 - 100 | 50 | 45 | اثار |
| P | مغ / ليتر 10 - 40 | 15 | 13 | اثار |
| الحمولة البكترية مقدرة في 100 مل ماء | $10^8 - 10^{10}$ | $4 \times 10^7$ | - | 0 |

جدول 11 : نتائج متوسطة لتحليل المياه المعالجة بطريقة حفرة التعفن وملحقاتها

# الفصل الخامس

## المعالجة الحيوية لمياه الصرف

تعتمد طريقة التصفية الحيوية لمياه الصرف على نشاط الاجسام الحية الدقيقة وتفكيكها للمركبات العضوية المنحلة معطية طاقة وخلايا حية جديدة مما يؤدي إلى إزالة تلك المواد العضوية القابلة للتحليل من الوسط.

تحدث عملية التحلل الحيوي على مرحلتين، تتضمن المرحلة الأولى امتزاز سريع للمواد العضوية على الحمأة (الوحل الحيوي) تليها مرحلة ثانية بطيئة وهي أكسدة تلك المركبات وتحويلها إلى غاز ثاني أكسيد الكربون والماء في وسط هوائي.

تتعلق سرعة التحلل الحيوي بعوامل كثيرة أهمها:

- عدد الجسيمات الحية الدقيقة.
- كمية الأكسجين المنحل.
- درجة الحرارة.
- نوعية العناصر الملوثة المنحلة وخاصة في حالة مياه الصرف الصناعية التي تحوي على عناصر مثبطة للفعل البكتري أو حتى موقفة له.

يمكن قياس فعالية التحولات الحيوية الجارية بقياس الأكسجين المستهلك أو ثاني أكسيد الكربون الناتج. وتحوي مياه الصرف مواد عضوية سريعة التحلل الحيوي وأخرى بطيئة السرعة ويوجد بعض المركبات الغير قابلة للتحلل العضوي ومثال على هذه الأخيرة مركبات الديال الموجودة في المياه الطبيعية. يعطي الجدول 12 قابلية بعض المركبات العضوية للتحلل الحيوي.

| المركبات العضوية | قابلية التحلل الحيوي |
| --- | --- |
| المركبات الهيدروكربونية المشبعة | غير قابلة للتحلل وسامة أحياناً |
| مركبات أوليفينية ( 5 - 7 كربون) | تتحلل حيوياً بصعوبة |
| مركبات هيدروكربونية كلورية | غير قابلة للتحلل |
| الكحولات | تتحلل بشكل جيد ما عدا بعضها |
| الفينولات | تتحلل بشكل جيد ما عدا كلور الفينول الذي يتحلل ببطىء |
| الألدهيدات | تتحلل بشكل جيد ما عدا بعضها |
| الحموض العضوية وأملاحها | تتحلل بشكل جيد |
| الايتيرات | غير قابلة للتحلل أو بطيئة جداً |
| السيتونات | تتحلل بسرعة متوسطة |
| الحموض الأمينية | تتحلل بشكل جيد |
| مركبات السيانور | تتحلل بفعل بكتريا خاصة ومن أجل تراكيز أقل من 50 مغ / ليتر |
| المواد المنظفة: | |
| - الكيل سولفات | تتحلل بسهولة |
| - الكيل سولفونات | تتحلل بسرعة في حالة وجود البكتريا المناسبة |
| - كحول وحموض دسمة | تتحلل بسرعة |

جدول 12 : قابلية بعض المركبات العضوية للتحلل الحيوي

تحدث عملية تأقلم للبكتريا مع الكثير من المركبات العضوية التي تبدو في البداية غير قابلة للتحلل ولكن بعد مرور زمن معين من التماس يلاحظ بداية تحلل تلك المواد، وتزداد سرعة التحلل مع الزمن نتيجة التكاثر المستمر للبكتريا الملائمة لذلك النوع من التحول. يعطي الجدول 13 الطلب الكيميائي الحيوي للأكسجين ( $DBO_5$ ) لبعض المركبات العضوية بدلالة زمن تلامسها مع البكتريا.

| المركب | فترة التماس مقدرة في اليوم وفي الدرجة 20 م | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 50 |
| أحادي ايتانول أمين | 0 | 58,4 | 61,2 | 64 | 75,6 |
| ثاني اتيل أمين | 0,9 | 1,4 | 3,5 | 6,8 | |
| ثلاثي اتيل أمين | 0 | 0,8 | 2,6 | 6,2 | |
| ميتانول | 53,4 | 62,7 | 69,4 | 67 | 97,7 |
| أسيتون | 55,4 | 71,8 | 78,2 | 78,2 | |
| متيل ايروبوتيل سيتون | 4,4 | 49,3 | 55,9 | 56,6 | 64,8 |
| أسيتات ايروبروبيل | 12,7 | 40 | 40 | 40 | |
| بوتانول ـــ 2 | 0 | 44,2 | 69,2 | 72,3 | 77,9 |

جدول 13 : الطلب الكيميائي الحيوي للأوكسجين مقدراً بالنسبة المئوية من القيمة النظرية بدلالة عدد أيام التماس مع البكتريا .

يلاحظ من الجدول أعلاه أن مواد مثل أحادي ايتانول أمين لم تعاني أي انخفاض في قيمة $DBO_5$ في الأيام الخمسة الأولى بينما تحولت بنسبة تفوق 50 ٪ في الأيام الخمسة التالية وينطبق ذلك على بوتانول ـ 2 مما يدل على ظهور البكتريا المناسبة للتحول بعد فترة زمنية وتكاثرها السريع بعد ذلك. بينما تكاثر البكتريا

الملائمة لتحلل ثلاثي اتيل الأمين ظل بطيء بحيث لم يتحلل إلا نسبة تقارب الـ 6 ٪ خلال 20 يوماً .

يؤثر التركيز العالي للأملاح في مياه الصرف على العمليات الحيوية ، حيث تتوقف عملية النترجة في المياه العالية الملوحة ، ونذكر أن العمليات الحيوية تظل فعالة إلا في المياه التي لا تتجاوز درجة ملوحتها 2 ٪ . وتؤثر تحولات قيمة PH الوسط على التفاعلات الحيوية أيضاً حيث تفضل الأوساط القلوية وإن كان بعضها قادراً على التلائم مع الأوساط الضعيفة الحموضة .

## 1 ـ السرير البكتري أو المرشح البكتري :

يعتمد مبدأ السرير البكتري (المرشح البكتري) على مرور المياه المراد معالجتها (والتي خضعت لعملية ترقيد) على مواد متمتعة بسطح نوعي مرتفع تتثبت عليها الأجسام الحية الدقيقة القادرة على القيام بعملية التصفية الحيوية للماء ، وتستغرق فترة تشكل تلك الشريحة الحيوية من 2 إلى 4 أسابيع لمباشرة عملها بشكل ملحوظ . يستعمل لهذه الغاية مواد مختلفة مثل الفحم ورماد الفحم الحجري وجفاء مطحون وبزولان ( Pouzzolane ) ولقد انتشر استعمال المواد البلاستيكية بشكل واسع في السنوات الأخيرة . أما الشريحة الحيوية فإنها مؤلفة من تجمع للبكتريا والفطور وغيرها وبشكل عام فإنها تحوي بكتريا عضوية التغذية ( Hétérotrophes ) متمركزة على السطح الخارجي ، وبكتريا ذاتية التغذية ( Autotrophe ) متمركزة في أعماق الشريحة الحيوية .

يوجد أنواع مختلفة من الأسرة البكترية منها ما هو مخصص للمياه الضعيفة الحمولة بالمركبات العضوية ومنها ما هو مخصص للمياه ذات الحمولة العالية . تتعدد شروط عمل السرير البكتري من اعادة مرور المياه المصفات مرة أخرى على

السرير إلى اقامة سرير ذو طبقات عديدة .

## 1 - 1 ـ أسس نظرية :

تتعلق فعالية السرير البكتري (المرشح البكتري) في إزالة التلوث العضوي (تعبر قيمة D B O عن مقدار التلوث العضوي) بعوامل عديدة نذكر منها :

- ـ نوعية الماء المعالج .
- ـ الحمولة الهيدرولية .
- ـ درجة الحرارة .
- ـ نوعية المواد المستعملة كحامل للبكتريا .

ويمكن التعبير عن فعالية المرشح البكتري بالعلاقة التالية :

$$\frac{L_f}{L_o} = e^{-K_1 t} \qquad 1$$

حيث : Lf قيمة D B O5 للماء المصفى .

Lo قيمة D B O5 للماء الخام المغذي للمرشح البكتيري .

t زمن التماس المتوسط بين الماء والمرشح .

K1 يتعلق بدرجة حرارة الماء ونوعية المواد المستعملة كحامل للبكتريا وكذلك نوعية المياه المراد معالجتها .

ولقد أعطت الدراسات المختلفة علاقة رياضية لحساب زمن التلامس وهي :

$$t = K_2 \frac{H}{Q^n} \qquad 2$$

حيث :-H ارتفاع طبقة المرشح البكتري مقدرة بالمتر

Q الحمولة الهيدرولية مقدرة بالمتر المكعب من أجل المتر المربع في الساعة ( م 3 / م 2 . سا ).

K2 و n ثوابت

ومنه فإن :

$$\frac{L_f}{L_o} = e^{-K_1 K_2 H Q^n} \qquad 3$$

وطبقاً لنتائج ECKenfelder و Barnhart فإن :

$$K_1 . K_2 = K_t . S_s m \qquad 4$$

حيث تمثل Kt معامل متعلق بدرجة الحرارة ونوعية الحامل Ss السطح النوعي للحامل (م 2 / م 3 ) و m معامل موجب وأقل من الواحد وتحدد قيمته تجريبيا .

ولذلك يمكن كتابة العلاقة النهائية على الشكل التالي :

$$\frac{L_f}{L_o} = e^{-K_T . Ss^m . H . Q^{-n}} \qquad 5$$

## 1 - 2 ـ نوعية المواد المستعملة في المرشح البكتري :

يمكن تقسيم المواد المستعملة في المرشح البكتري إلى نوعين أساسيين :

1 ـ المواد الحبيبية :

استعملت المواد الحبيبية منذ فترة طويلة في عملية التصفية على مرشح بكتري . وكانت تلك المواد طبيعية المنشأ مثل الفحم الخشبي وبقايا الفحم الحجري وغيرها . وتتكون وحدات المرشحات الحيوية مملوءة بالمواد الحبيبية من

أحواض مبنية من مواد غير نفاذة (اسمنت) وتكون على شكل اسطواني أومتوازي المستطيلات ويكون ارتفاعها 2 متر تقريباً . يبلغ مردود المرشح البكتري 66٪ تقريباً عندما تكون المياه ملوثة بشكل كبير ( DBO مرتفعة) لذلك يمكن اعادة المياه المصفات للمرشح مرة ثانية لرفع المردود. وأعطى Rankin العلاقة التالية لترشيح مياه الصرف في حالة كون الحمولة الهيدرولية أقل من 1,13 م 3 / م 2 . سا :

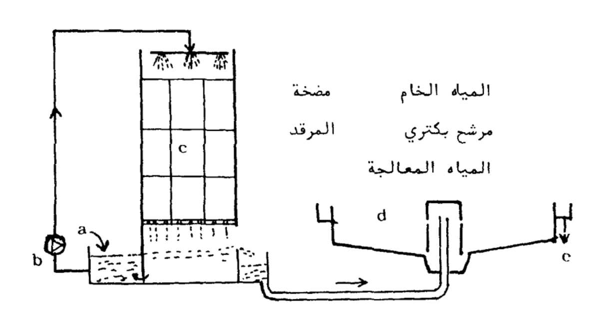
$$L_f = \frac{L_0}{2r + 3}$$

حيث تمثل r معدل الجريان المضاعف . يجب أن تكون المواد المستعملة كحامل للشريحة البكتريه نظيفة وثابتة وتنحصر أبعاد حبيباتها بين 40 إلى 80 مم .

2 ـ المواد البلاستيكية :

ظهر استخدام المواد البلاستيكية في السرير البكتري لأول مرة في عام 1960 ومنذ ذلك التاريخ تطورت تلك الطريقة بشكل واسع وسريع نتيجة تميزها بفعالية عالية ولعدم تأثرها بالطمي المترسب أثناء عملية التصفية الحيوية على المرشح البكتري . ونظراً لكون المردود مرتبطاً بارتفاع المرشح البكتري (علاقة 3 ) فإنه يمكن زيادة ارتفاع المرشح البكتري المليء بالبلاستيك إلى 7 متر . مما يجعل هذا النوع من المرشحات قادراً على تصفية المياه الشديدة التلوث وذات الحمولة الهيدرولية العالية ( 1,5 - 3 م 3 / م 2 . سا) ويعاد جريان قسم من الماء المصفى على المرشح مرة ثانية للمحافظة على درجة التمديد العملية ولتفادي حصول توقف في جريان المياه على المرشح أثناء توقف جريان مياه الصرف . وتستعمل عادة الأسرة البكتريـة المملوءة بالبلاستيك دون الحاجة لمرقد أولي قبل المرشح ولذلك يوضع المرقد بعد المرشح فقط (شكل 11 ) . تتمتع المواد البلاستيكية المستعملة

بسطح نوعي مرتفع ( 90 إلى 300م 3 / م 2 ) وتحتل الفراغات 95٪ من الحجم الكلي للطبقة .




شكل 11

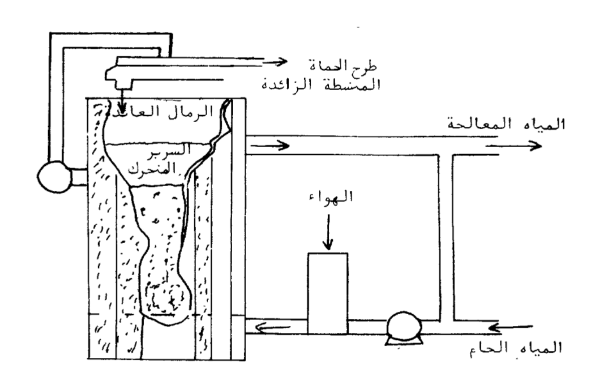
مرشح بكتري متبوع بمرقد

## 3 - 1 ـ الأنواع المختلفة للأسرة البكترية :

### 1 - 3 - 1 ـ الأسرة البكترية المتحركة :

تثبت البكتريا على حبيبات خفيفة الوزن مما يسمح لتيار الماء بجعلها معلقة داخل حوض التصفية وتستخدم لهذه الغاية رمال أو فحم منشط أبعاد حبيباته أقل من 1 مم ويكون ارتفاع الحوض 6 إلى 8 متر .

يوضح الشكل 12 مخططاً لطريقة الأسرة البكترية المتحركة .




شكل 12
الأسرة البكتر ية المتحركة

وأهم مواصفات الأسرة البكتر ية المتحركة وجود سرعة عالية لدخول الماء تسمح بوضع الحبيبات الحاملة للسرير البكتري بشكل معلق حيث تكون بين 18 - 40 م / سا وإذا كانت الحبيبات من الفحم فإن قطرها ينحصر بين 0,4 و 1,7 مم وسرعة دخول الماء 18 م / ساعة. أما إذا كان الحامل من الرمل فإن قطر الحبيبات ينحصر بين 0,4 إلى 1,5 مم وسرعة دخول الماء 40 م / سا.

### 1 - 3 - 1 ـ الأسرة البكترية الثابتة :

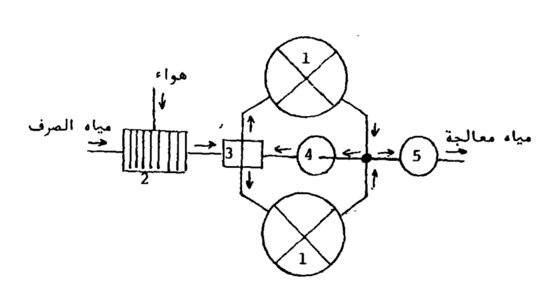
توجد تقنيات متعددة لاستحدام الأسرة البكتر ية الثابتة ونذكر منها :

ا) ـ المرشحات البكتر ية المتوالية المختلفة الأبعاد:

يتطلب هذا النـوع من المنشـآت وجـود مرقـد صغـير بين المرشـح الأول والأخـير، ويكـون المـرشـح الأول أصغـر من الأخـير بنسبـة 1 إلى 6، مما يسمح بالحصول على مردود مرتفع. يتمتع هذا النوع من المرشحات البكتر ية بقدرة على معالجة مياه ذات درجة عالية من التلوث العضوي.

ب) ـ المرشحات البكتر ية المتناوبة والمتساوية الأبعاد:

تحوي المنشأة على مرشحين متساويين في أبعادهما ولكن هناك نظام يعكس اتجاه مياه الصرف بحيث تمر خلال فترة من الزمن على المرشح الأول بالبداية، وفي




1 ـ السرير البكتري، 2 ـ خزان لمزج مياه الصرف مع الهواء
3 ـ مضخات، 4 ـ مرقد مرحلي، 5 ـ مرقد نهائي

شكل 13

منشأة مؤلفة من مرشحين متناوبين

فترة زمنية أخرى يدخل الماء على المرشح الثاني قبل مرورها على المرشح الأول ويحدث ذلك مرة كل اسبوعين تقريباً. يُنَشِط عكس اتجاه مياه الصرف المرشح كلما انخفضت فعاليته ولذلك يتمتع هذا النوع بمردود مرتفع جداً. يعطي الشكل 13 مخططاً لمنشأة مؤلفة من مرشحين متناوبين.

جـ) ـ المرشحات البكتر ية المغمورة:

ـ الأقراص الدائرة:

تتشكل المرشحات البكتر ية من أقراص تحمل على سطحها الشريحة الحيوية ويتراوح قطرها بين 2 إلى 3 متر ويبعد القرص عن الآخر بمقدار 2سم ومحمولة على محور أفقي يسمح لها بالدوران. عندما يكون نصف القرص السفلي مغموراً في مياه الصرف يكون القسم العلوي معرضاً للهواء ليحصل على الأكسجين اللازم لعمليات التحلل الحيوية. وتملك المرشحات المغمورة ميزات كثيرة أهمها:

- يتطلب قليلاً من الصيانة.
- يعمل دون وجود للضغط الخلفي ( Perte de Charge )
- مردود مرتفع
- يتطلب 2 إلى 7 كيلو واط من الطاقة لمخلفات الانسان الواحد سنوياً.

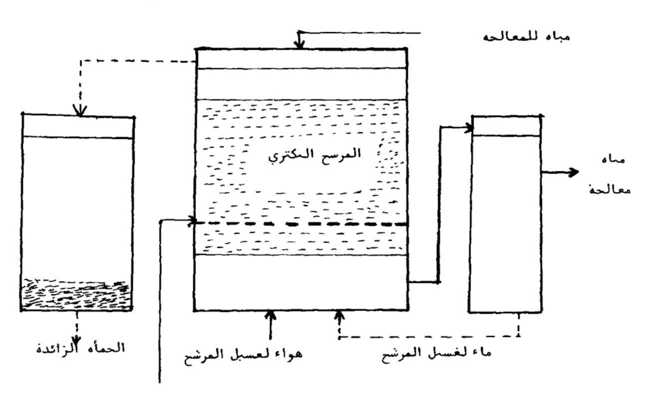
ـ الطبقة الثابتة:

يتألف المرشح من طبقة من المواد الحاملة للسرير البكتر ي ( حبيبية او بلاستيكية) موضوعة في حوض كبير يدخله الماء من الأعلى أومن الأسفل تبعاً للتقنية المستعملة كما يتم ادخال الهواء من الاسفل دائماً. يوضح الشكل 14 مخططاً لمرشح بكتر ي يدخله الماء من الأعلى كما يوضح الشكل 15 الاحتمالات التقنية

الممكنة لدخول الهواء والماء الى المرشح :

1 ـ يدخل الماء والهواء من الأسفل ويخرج الماء المصفى من الأعلى .

2 ـ يدخل الماء من الأعلى بينما يدخل الهواء من الأسفل .



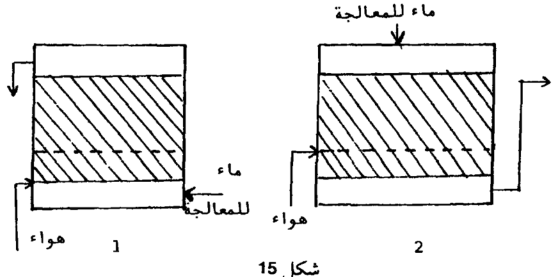

شكل 14

مخطط لمرشح بكتري يكون فيه السرير البكتري مغمور ضمن الماء الذي يدخله من الأعلى

## 1 - 4 ـ الميزات الأساسية للمرشحات البكترية :

تتمتع طريقة المرشح البكتري بميزات عديدة تجعلها في حالات كثيرة الطريقة الأفضل للتصفية ومن أهم تلك الميزات :

ـ تبدأ فعاليتها بسرعة (عدد من الساعات).
ـ لا تحدث عملية إذابة للطبقة البكترية في الماء لأنها مثبتة على حامل.
ـ تتمتع المادة الفعالة بتركيز أعلى مما هي عليه في الطرق الأخرى ( 10 إلى 20 مرة أعلى من طريقة الحمأة المنشطة).
ـ مردود مرتفع (يصل المردود لمياه المجارير العامة إلى 90% من DCO و 95% من MES )
ـ لا يوجد حاجة لانشاء حوض للاراقة بعد عملية الترشيح البكتري




شكل 15

الاحتمالات التقنية لدخول الماء والهواء الى المرشح

يعطي الجدول التالي نتائج عملية للمرشح البكتري الثابت تم الحصول عليها من محطتين:

**(1) محطة تصفية مياه الصرف لمصنع الجعة ( Brasserie ) :**

| المقياس | المياه الداخلة | المياه الخارجة | المردود |
|---|---|---|---|
| DCO | 2300 مغ / ليتر | 65 مغ / ليتر | 97٪ |
| $DBO_5$ | 1500 مغ / ليتر | 25 مغ / ليتر | 98,5٪ |

### 2 ـ مياه الصرف لمصنع العطورات :

| المقياس | المياه الداخلة | المياه الخارجة | المردود |
|---|---|---|---|
| DCO | 4000 مغ / ليتر | 300 مغ / ليتر | ٪92,5 |
| $DBO_5$ | 2200 مغ / ليتر | 25 مغ / ليتر | ٪98,9 |

## 2 ـ طريقة أحواض التهوية أو الحمأة المنشطة :

تعتبر عملية التصفية باستعمال أحواض التهوية (أو الحمأة المنشطة) مشابهة لعملية التنقية الذاتية ( Autoépuration ) التي تحدث في المياه الطبيعية السطحية. ولكن الشروط المطبقة في حوض التهوية تزيد من سرعة تلك التحولات بشكل كبير بواسطة التراكيز العالية للبكتريا وتأمين الأكسجين اللازم للأكسدة الحيوية. تعتمد إذاً طريقة التصفية باستعمال الحمأة المنشطة على تكاثر البكتريا المنتشرة في كتل الحمأة والمعلقة ضمن حوض يدخله ماء الصرف والهواء بشكل مستمر مع تحريك دائم لأحداث حالة تجانس بين الحمأة المنشطة ومياه الصرف من جهة ولمنع الترسب من جهة أخرى.

تكون الحمأة على شكل كتل جلاتينية محمولة ضمن الماء وتشابه تلك لكتل الشرائح الحيوية المثبتة على المرشحات البكترية. تحدث عملية امتزاز للعناصر المنحلة والعناصر الغروية الموجودة في مياه الصرف على سطح كتل الحمأة المنشطة، مما يسمح للبكتريا باستهلاكها كغذاء وبالتالي تكاثرها، وتحول البكتريا تلك المواد الكيميائية المعقدة إلى مواد كيميائية بسيطة تطرحها في الماء (غازات، مواد عضوية منحلة، مواد معدنية منحلة).

يجب الحفاظ على تلك الكتل المتشكلة (الحمأة) معلقة ضمن السائل إما بفعل ميكانيكي أو بضخ الهواء من الأسفل أو باستخدام الفعلين معاً. ينحل أكسجين الهواء في الماء للحفاظ على تركيز مرتفع منه لأن انخفاض كمية

الأكسجين المنحل إلى أقل من 1 مغ / ليتر يؤدي إلى توقف عملية التحولات الحيوية الهوائية وظهور التحولات الحيوية اللاهوائية. يحدد زمن التماس بين الحمأة المنشطة ومياه الصرف تبعاً لحمولة تلك المياه بالملوثات، ويقاد الماء الخارج من حوض التهوية (حوض الحمأة) إلى مُرَوِّق للماء ( Clarificateur )، ويسمى أيضاً بالمرقد الثانوي، وذلك لفصل الماء المصفى عن الحمأة التي تعاد مرة ثانية إلى حوض التهوية للمحافظة على تركيز عال من البكتريا في حوض التهوية، غير أن الكمية الزائدة من الحمأة تقاد إلى جهاز خاص لمعالجة الحمأة وتصنيع الأسمدة منها

## 2 - 1 ـ مردود حوض التهوية :

لنفرض أن كتلة قدرها Sa من الأجسام الحية الدقيقة قد حللت كمية من المواد العضوية قدرها Le في وسط هوائي. ونظراً لاستحالة قياس الكمية Sa تجريبياً، يعوض عنها بكتلة المواد القابلة للتبخر Sv من الحمأة أو بكتلة الحمأة الكلية (معدنية وعضوية) St . تحسب الكمية النظرية اللازمة من الأكسجين لاحداث عملية التكاثر للبكتريا والأكسدة للمركبات العضوية من العلاقة التالية :

$$O_2 = a' Le + b' Sv \qquad 7$$

وتحدد قيمة الثوابت 'a و 'b مخبرياً باستعمال جهاز Warburg ، وتمثل الانخفاض في قيمة $DBO_5$ نتيجة عملية التصفية في الحوض الهوائي مقدرة بالكيلو غرام يومياً وتكون كمية الحمأة الناتجة عن تلك التحولات هي :

$$\triangle Sv = a_m Le - b\, Sv \qquad 8$$

حيث Sv ـ كتلة المواد العضوية مقدرة بالكيلوغرام في الحمأة الكلية الموجودة في الحوض الهوائي .

$\Delta Sv$ ـ كمية الحمأة الناتجة عن التحولات الحادثة وتقدر بالكيلو غرام يومياً.

وبتقسيم طرفي العلاقة 8 على Sv نحصل على ما يلي:

$$\frac{\Delta Sv}{Sv} = a_m \frac{Le}{Sv} - b \qquad 9$$

وتستخدم هذه العلاقة لحساب قيمة كل من $a_m$ و b.

تعطي العلاقات السابقة كمية الحمأة المتشكلة نتيجة التكاثر واستهلاك المواد العضوية المتحللة، ولذلك يجب إضافة كمية المواد المعلقة (معدنية أو عضوية) الغير فعالة والموجودة أصلاً في المياه المغذية لحوض التهوية، للحصول على الزيادة الكلية في كمية المواد المعلقة.

تُعَبر الحمولة الكتلوية Cm عن النسبة بين كتلة المواد العضوية القابلة للتحلل والتي تدخل حوض التهوية يومياً ما ( $DBO_5$ ) وبين كمية الحمأة St الموجودة في حوض التهوية:

$$Cm = \frac{L_o}{St} \qquad 10$$

ولكن كمية الحمأة St تحوي مركبات قابلة للتبخر بالحرارة وتعطي كميتها بالرمز Sv وبالتالي يمكن اعطاء مفهوم آخر للحمولة الكتلوية ( Cm' ) بدلالة تلك المركبات. فإذا افترضنا أن الحمأة تحوي X٪ من تلك المواد القابلة للتبخر بالحرارة فإن:

$$Sv = X \,.\, St \qquad 11$$

$$Cm = \frac{L_o}{Sv} = \frac{L_o}{xSt} = \frac{Cm}{x} \qquad 12$$

بينما تعبر الحمولة الحجمية Cv عن نسبة كتلة المواد القابلة للتحلل ( $DBO_5$ ) والداخلة يومياً في حوض التهوية إلى حجم الحوض V .

$$Cv = Lo / V \qquad 13$$

يعبر عن المردود y بنسبة $DBO_5$ للمياه الخارجة إلى $DBO_5$ للمياه الداخلة للحوض :

$$Y = \frac{DBO_5 \text{ للمياه الخارجة من الحوض}}{DBO_5 \text{ للمياه الداخلة الى الخوص}} = \frac{Le}{L_o} \qquad 14$$

كما يمكن التعبير عن المردود بدلالة D C O أو C O T أو غيرها من المقاييس الأخرى.

أما الأكسجين المستهلك أثناء عملية التحولات الحيوية فيتم قياسه بواسطة الطلب الكيميائي الحيوي للأكسجين ( $DBO_5$ )، حيث يشكل التغير الحادث في قيمة $DBO_5$ بين المياه الداخلة والمياه الخارجة من الحوض كمية الأكسجين المستهلكة وبالتالي فإن :

$$\frac{O_2 \text{ المستهلك}}{Le} = \acute{a} + \frac{\acute{b}}{x \, . \, Cm} \qquad 15$$

وكذلك :

$$\frac{\Delta Sv}{Le} = a_m - \frac{b}{x \, . \, Cm} \qquad 16$$

تعطي تلك العلاقات المردود بدلالة مقاييس تجريبية.

تصنف أحواض التهوية بدلالة حمولتها:

- أحواض ذات حمولة كتلوية عالية حيث تكون قيمة Cm أكبر من 0,5 كغ من $DBO_5$ يومياً ومن أجل 1 كغ من الحمأة. أو تكون قيمة Cv أكبر من 1,5 كغ من $DBO_5$ في اليوم ومن أجل 1 م 3 من حوض التهوية.

- أحواض ذات حمولة كتلوية متوسطة.

$$0,2 < Cm < 0,5$$

$$0,6 < Cv < 1,5$$

- أحواض ذات حمولة كتلوية صعيفة

$$0,07 < Cm < 0,2$$

$$0,35 < Cv < 0,6$$

- أحواض دات حمولة ضعيفة جداً وتسمى أحواض التهوية المطولة

$$Cm < 0,07$$

$$Cv < 0,35$$

تحدث عملية النترجة (تحول الآزوت العضوي وآزوت الأمونيا إلى نترات) في حالة كون الحمولة الكتلوية أقل من قيمة محصورة بين 0,1 و 0,4 وذلك تبعا لقيمة PH الوسط. تعطي أحواض التهوية مردوداً عالياً في التخلص من التلوث العضوي مقاساً بدلالة التغيرات في قيمة الطلب الكيميائي الحيوي للأكسجين، غير أن ذلك المردود يرتبط بعوامل كثيرة من أهمها:

- نوعية مياه الصرف (منزلية أو صناعية)
- درجة الحرارة.
- الحمولة الكتلوية أو الحجمية للحوض

إذا افترضنا أن مياه الصرف لا تحوي إلا المخلفات البشرية وأن درجة تلوثها

متـوسطـة ( 3050 > $DBO_5$ > 150 مغ / ليـتر) فإن أحـواض التهـويـة تعطي قيم مختلفة للمردود من أجل الأنواع المختلفة للأحواض :

- يعطي حوض التهوية المطولة مردوداً قدره 95٪ تقريباً
- يعطي حوض التهوية متوسط الحمولة مردوداً قدره 90٪ تقريباً
- يعطي حوض التهوية عالي الحمولة مردوداً أقل من 85٪

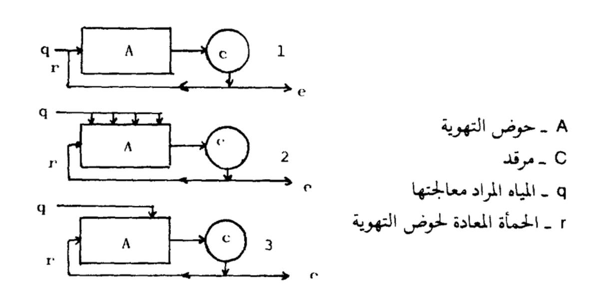
## 2-2 ـ أنواع أحواض التهوية :

### أ ـ نظام الأحواض المنفصلة :

تجري عمليـة التهـوية وعملية التر ويق ضمن حوضين منفصلين مما يتطلب اعـادة الحمأة بالضـخ من المـروق إلى حوض التهوية (شكل 16) . يعتمد النظام القديم على ضخ الماء والحمأة معاً في حوض التهوية (شكل 16 - 1 ) ويتمتع هذا النظـام بميـزات عديـدة أهمها اعطاء مياه مصفاة بشكل جيد مع مردود لا بأس به بالنسبـة لعمليـة النـترجـة، غير أن له مسـاوىء أيضـاً ومن أهم تلك المسـاوىء استهـلاكـه المـرتفـع للأكسجـين عنـد مدخل الحوض، مما دعى العاملين في هذا المجال لتحسين تلك الطريقة الى احداث أنظمة الطوابق المتعددة لحوض التهوية ( Step - Aeration ) ، حيث يدخـل ماء الصـرف من أعلى الحوض ويكون موزعاً إلى أجـزاء مختلفـة تمزج مع الهواء قبل دخولها الحوض، بينما تدخل الحمأة العائدة من المُـرَوِّق إلى الحـوض وقـد اشبعت بالهـواء قبـل تماسهـا مع مياه الصرف المراد معالجتها (شكل 16 - 2 ) .

يوجـد نوع ثالث يعتمـد على السـماح للحمأة بالنمو قبل تلامسها مع المياه المراد معالجتها ويتم ذلك بادخال الحمأة في بداية الحوض بينما تدخل مياه الصرف في القسم الأخـير منـه مما يجعـل زمن التـلامس قصـيراً وتتم في هذه الحـالـة إزالة الملوثات العضوية بالامتصاص على كتل الحمأة أو بالامتزاز عليها (شكل 16 - 3 )

تستعمـل الطـريقـة الأخيرة لمعالجة المياه ذات الحمولة المتوسطة من المواد العضوية وتسمى الامتصاص الحيوي ( Biosorption ).




شكل 16
تصفية مياه الصرف بواسطة حوض التهوية مع وجود مرقد وأنظمة مختلفة لادخال الماء الى الحوض

**ب ـ نظام الأكسدة السريعة** : Oxyrapid

يتمتـع نظـام الأكسـدة السـريعه بإجراء عمليه التهوية والتر ويق في حوض واحد مما يوفر في التكاليف مع اعطاء مردود جيد. تستعمل هذه الطريقة في محطات المعالجة لمياه صرف المدن الكبيرة ( 50000 إلى 250000 نسمة).

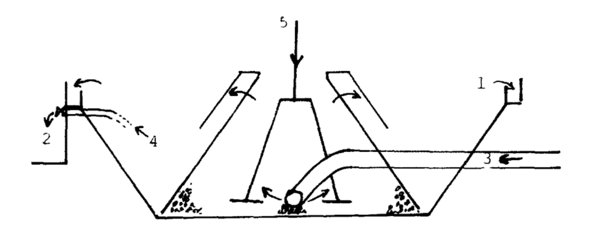
يوجد نوعان لتلك الأحواض:

ـ حوض الأكسدة السريعة من نوع Oxyblash حيث تكون منطقة التر ويق

مؤلفة من حواجز مائلة لزيادة سرعة الترسيب (شكل 17 )

ـ حوض الأكسـدة السـريعـة من نوع R ( Racl é ) ؛ يستعمل هذا الحوض لمعالجة مياه الصرف ذات الحمولة الضعيفة (شكل 18 )

تتمتـع الأحـواض المذكورة أعلاه بأبعاد تتراوح بين 10 إلى 120 متر وعمق يتراوح بين 4 إلى 4,5 متر .




1 ـ المياه المعالجة، 2 ـ الحمأة الزائدة، 3 ـ وصول المياه الخام

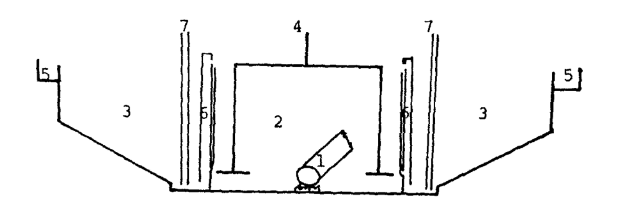
4 ـ نظام لسحب الحمأة من الحوض، 5 ـ الهواء المضغوط

شكل 17

حوض الأكسـدة السـريعة المتضمن منطقة للتهوية ومنطقة للترقيد داخل الحوض ويفصل بينهما حواجز مائلة

### جـ ـ نظام التسريع الهوائي :

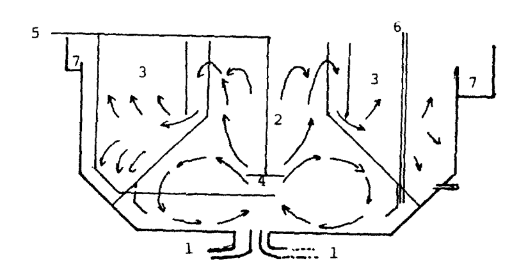
يتمتـع هذا النظـام بوجـود منطقـة مركزية للتهوية السريعة ومنطقة خارجية للترويق ، بينـما يحدث انتقـال الحمأة من منطقـة لأخـرى بتأثـير الجـاذبيـة وليس باستعمال مضخات ميكانيكية (شكل 19 ) .




1 ـ وصول الماء الخام، 2 ـ مطقة التهوية، 3 ـ منطقة الترويق
4 ـ الهواء، 5 ـ المياه المعالجة، 6 ـ اعادة الحمأة لحوض التهوية

شكل 18

حوض الأكسدة السريعة من نوع R (Raclé)




1 مدخل المياه الخام، 2 ـ منطقة التهوية، 3 ـ مطقة الترويق
4 ـ مخرج الهواء داخل الحوض، 5 ـ دخول الهواء
6 ـ سحب الحمأة الزائدة، 7 ـ المياه المعالجة

شكل 19

نظام التسريع الهوائي

د ـ حوض التهوية المطولة :

وضعت هذه الطريقة لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن التجمعات السكنية الصغيرة ( 2000 نسمة) وكذلك للمخلفات السائلة الناتجة عن بعض الصناعات (صناعة الحليب ومشتقاته). ولا تحتاج هذه الطريقة إلى مراقبة مكثفة وتعطي مردوداً جيداً وأكيداً بحيث يصل استهلاك الأكسجين إلى 280 متر مكعب من الأكسجين لكل 1 كيلو غرام من $DBO_5$ . غير أن هذه الطريقة تحتاج إلى أحواض كبيرة الحجم بشكل عام.

## 2 ـ 3 ـ المراحل المكملة لحوض التهوية :

تعتبر عملية المعالجة الحيوية في حوض التهوية المرحلة الأساسية والهامة من تصفية مياه الصرف. غير أنه على الغالب تضاف مراحل مكملة لها تسبقها أو تليها وذلك تبعاً لنوعية المياه المراد معالجتها وللغاية المستهدفة من تلك المعالجة.

أ ـ المرحلة التمهيدية :

تشمل المرحلة التمهيدية التخلص من المواد الصلبة المحمولة داخل مياه الصرف بواسطة شبك معدني يحجز خلفه الأحجار والأوراق والكتل الكبيرة المحمولة بالقوة الهيدرولية للماء. كما يمكن التخلص من الجسيمات الأصغر كالرمال باستخدام حوض ترقيد أولي قادر أيضاً على التخلص من نسبة لا بأس بها من المواد العضوية والمعدنية إذا كانت سرعة المياه بطيئة داخل الحوض، كما يمكن التخلص من الزيوت والشحوم الطافية على السطح ببناء حوض خاص بذلك.

ب ـ الترويق النهائي :

تمثل عملية الترسيب النهائي والتي تتم في أحواض خاصة ومنفصلة جزأ من عملية المعالجة بالحمأة المنشطة لا يمكن الاستغناء عنها، وذلك لأن لاحتواء الماء

الخارج من حوض التهوية على تراكيز عالية من المواد المعلقة. يعاد قسم من الرواسب المتكونة في حوض الترويق إلى حوض التهوية لاحتوائيه على الكائنات الحية الدقيقة المؤكسدة. يعبر عن فعالية عملية الترقيد أو الترويق بقرينة الحمأة ( Indice de Boues) والتي تعبر عن نسبة كمية المواد القابلة للترقيد (مل/ليتر) خلال نصف ساعة إلى وزن المواد المعلقة الكلية (غ / ليتر):

$$\text{قرينة الحمأة} = \frac{\text{كمية المواد القابلة للترقيد خلال 30 دقيقة (مل / ليتر)}}{\text{وزن المواد المعلقة الكلية (غرام / ليتر)}}$$

تعتبر عملية الترقيد مرضية عندما تكون قيمة قرينة الحمأة محصورة بين 50 إلى 100.

جـ - تطهير مياه الصرف المعالجة بالطرق الحيوية:

يتضح من النتائج الواردة سابقاً أن المرشحات الحيوية أو أحواض التهوية تزيل حوالي 90 إلى 95٪ من البكتريا المحمولة في مياه الصرف، غير أن عملية التطهير ضرورية للتخلص من البكتريا الضارة، ويتم ذلك باستخدام مواد مؤكسدة قوية مثل الأوزون أو الكلور. تتم عملية الكلورة في أحواض خاصة حيث الملامسة بين المياه الخارجة من حوض التهوية أو المرشح البكتري وبين الكلور لمدة لا تقل عن 30 دقيقة، ومن المفضل أن تتراوح كمية الكلور المتبقية في الماء الخارج من حوض الكلورة بين 0,2 و 0,3مغ / ليتر. إن تطبيق تلك الشروط يؤدي إلى قتل 99,9٪ من بكتريا الكوليفورم الموجودة في مياه الصرف الحضرية.

## 2-4 - معالجة الحمأة المنشطة:

يترسب في قاع حوض الترقيد المواد المعلقة المحمولة في الوسط المائي أو التي

تشكلت نتيجة إضافة المواد الكيميائية المكتلة وتسمى المواد المترسبة في حوض الترقيد بالحمأة (الأوحال) وتشكل عادة 0,5 إلى 2 ٪ من الماء المعالج حجماً. تعالج الحمأة للتخلص من المواد الضارة الموجودة داخلها ولإنقاص حجمها بشكل كبير بعد إزالة الماء منها وتجفيفها.

### 2 - 4 - 1 ـ المواصفات الاساسية للحمأة:

تمير الحمأة (الأوحال) بشكل عام بمواصفات معينة نذكر منها:

ـ تركير المواد الجافة: يتراوح تركير المواد الجافة في الحمأة بين 0,5 و 10 ٪ وزنا من المياه الخارجة من حوض النهوية.

ـ تركيز المواد القابلة للتبحر (مواد عضوية): يعبر عن تركيز المواد القابلة للتبخر بالنسبة المئوية لتلك المواد الموجودة في المواد الجافة، وتعطي تلك النسبة معلومات عن القدرة الحرارية للحمأة.

ـ قابلية الحمأة للضغط

ـ لزوجة الحمأة.

ـ قابلية الحمأة للترشيح وللفصل بطريقة قوى الطرد المركزي

### 2 - 4 - 2 ـ طرق معالجة الحمأة:

تعالج الحمأة لتحفيض حجمها ولازالة فعالية التخمر المتمتعة بها أي تثبيتها. وتجري عملية ايقاف التحمرات بإزالة المياه من الحمأة والتطهير الكيميائي.

**أ ـ تثبيت الحمأة.**

**ـ التثبيت الهوائي:**

تعتمد طريقة التثبيت الهوائي على تهوية الحمأة لفترة طويلة بحيث تتكاثر الأجسام الحية الدقيقة بشكل سريع وتقوم بأكسدة المركبات العضوية الموجودة داخل الحمأة وبذلك تتم عملية تثبيتها. تجري عملية التهوية في أحواض خاصة ومغذات بالحمأة الخارجة من حوض التهوية وبالأكسجين أو الهواء. تستهلك هذه الطريقة كمية كبيرة من الطاقة الكهربائية حيث يلزم 150 إلى 300 واط لكل كيلو غرام من الحمأة المجففة. تخرج الحمأة المعالجة من حوض التثبيت على شكل مائع أسمر قليل الرائحة. تظل الحمأة عادة حوالي العشرة أيام ضمن حوض التثبيت الهوائي وتفقد 40٪ من المواد القابلة للتبحر.

**ـ التخمر اللاهوائي:**

تجري عملية التخمر اللاهوائي ضمن حوض مغلق لا يدخله الهواء ويسمى المخمر أو الهاضم. تملك عملية التخمر الميتاني قدرة كبيرة على تفكيك الجزيئات العضوية وتحويلها إلى غازات بسيطة كالميتان وبخار الماء. تتجاوز تكاليف بناء منشأة للتخمر اللاهوائي منشأة التثبيت الهوائي بشكل كبير وهذا هو أهم مساوىء تلك الطريقة، كما أنها حساسة بشكل كبير لتغيرات قيمة PH الوسط أو الحمولة العضوية أو درجة الحرارة.

يسمح التخمر اللاهوائي بإزالة قسماً كبيراً من المواد العضوية المعلقة أو المنحلة في مياه المجارير العامة. ونلاحظ أن حجم الحمأة المتبقية بعد عملية التخمر اللاهوائي أقل بثلاث مرات من التثبيت الهوائي للحمأة الناتجة عن مياه المجارير العامة.

تؤدي عملية التخمر اللاهوائي إلى تحطيم كامل للجراثيم الممرضة. وتعطى النسبة المئوية لارجاع المركبات العضوية بالعلاقة التالية:

$$X = 1 - \frac{M_1 (100 - M_2)}{m^2 (100 - M_2)}$$

حيث : $m_1$ـ النسبة المئوية للمركبات المعدنية في الحمأة قبل المعالجة .

$m_2$ـ النسبة المئوية للمركبات المعدنية في الحمأة بعد المعالجة .

وتصل قيمة تلك النسبة إلى 50٪ أحياناً . ويلخص الجدول التالي مواصفات كل من الطريقتين السابقتين :

| المواصفات | طريقة التثبيت الهوائي | طريقة التخمر اللاهوائي |
|---|---|---|
| المواد الناتجة عن عملية التحطيم | $CO_2, H_2O, NO_3$ | $NH_4, H_2, CH_4$ |
| الطاقة المستهلكة من قبل البكتر يا | 650 حريرة/مول | 35 حريرة مول |
| سرعة التحطيم (التقهقر) | + | − |
| بناء خلايا حية جديدة | + | − |
| ارجاع نهائي للمركبات العضوية | − | + |
| $DBO_5$ متبقية | 50 - 500 مغ / ليتر | 500 - 3000 مغ / ليتر |
| $DBO_5$ في 1 غ من المواد الطيارة | − | + |
| النسبة $M_v/M_s$ | + | − |
| ثبات المركبات الناتجة (رائحة) | − | + |

جدول 14 ـ مقارنة مواصفات طريقتي معالجة الحمأة

تتميز عملية التخمر اللاهوائي باحتوائها على طورين مختلفين هما :

ـ طور سائل أو الطور الحمضي الحاوي على البكتر يا المنتجة للحموص الطيارة .

ـ طور غازي يحوي البكتر يا الميتانية ( Bacterie Méthanique ) والتي تحول الحموض والكحول في المرحلة الأولى إلى غاز الميتان .

يحوي حوض التخمرات اللاهوائية على النوعين السابقين من البكتر يا بحيث يعدل الميتان الناتج في الطور الثاني حموضة الوسط الناتجة عن الطور الأول وبذلك يتميز حوض التخمر المتوازن بالخاصتين التاليتين :

1 ـ وسط معتدل ( PH= 6,8 - 7,8

2 ـ النسبة بين كمية الحموض الطيارة وقيمة TAC أقل من 0,4 (وتساوي 0,2 في أكثر الأحيان).

تحوي الغازات الناتجة عن عملية التخمر 65 إلى 70 ٪ من حجمها غاز الميتان. وتتأثر كثيراً عمية التخمر بدرجة الحرارة حيث تتوقف في درجة أقل من 11 م وتعطي المردود الجيد في الدرجة 35 م مما يجعل عملية التسخين ضرورية غير أن وجود غاز الميتان المستعمل في عملية التسخين يخفف كثيراً من تكاليف تلك الطريقة.

**ب ـ إزالة الماء من الحمأة:**

ـ تكثيف الحمأة ( Epaississement ) : تتم عملية التكثيف للحمأة بواسطة التكتل أو التعويم لها وتخصص عملية التعويم للحمأة المنشطة. تجري حسابات سعة الحوض المرقد على أساس حمولة نوعية تتراوح بين 25 إلى 120 كغ من MES للمتر المربع يومياً.

ـ تعديل الحمأة: تتم عملية تعديل للحمأة بطريقة كيميائية أو حرارية. ويستعمل للتعديل الكيميائي مركبات معدنية (كلور الحديد، الكلس الحي) أو بوليميرات عضوية. يضاف كلور الحديد بنسبة 4 الى 10 ٪ من وزن المواد المعلقة (MES) الموجودة ضمن الماء الخام، أما الكلس الحي فإنه يضاف بنسبة 1 إلى 2 مرة من وزن كلور الحديد. بينما يتم التعديل الحراري بتسخين الحمأة إلى درجة حرارة عالية ( 160- 210 م) مما يؤدي إلى تحولات في البنية الفيزيائية للمركبات العضوية والغرويات. يتراوح زمن التسخين بين 30 إلى 90 دقيقة. ويعطي الشكل التالي مخططاً لمنشأة التعديل الحراري للحمأة (شكل 20 ).

ـ ترشيح الحمأة: تعتبر طريقة ترشيح الحمأة بالضغط الطريقة الأكثر انتشاراً في إزالة المياه من الحمأة حالياً، ويمكن التعبير عن تلك العملية من خلال العلاقة التالية مع اهمال المقاومة الناتجة عن الحمأة:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P S_2}{\mu . R . C . V}$$

حيث V ـ حجم الرشاحة (الصلبة) مقدرة بالمتر المكعب

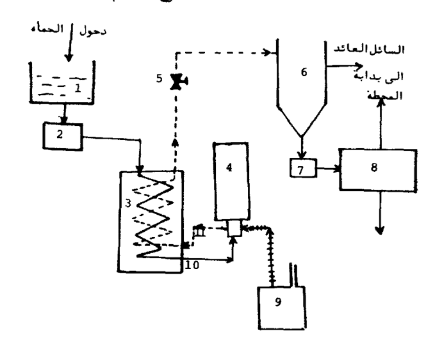
P ـ الضغط دينة / سم 2

S ـ سطح المرشح

μ ـ لزوجة الرشاحة بالبويز ( Poises )

R ـ معامل الترشيح للحمأة تحت الضغط P مقدرة بالسنتيمتر على غرام

C ـ تركيز المواد المعلقة في الحمأة مقدرة غ / سم 3




1 ـ خزان المياه الخام والحمأة، 2 ـ مضخة، 3 ـ مبادل حراري

4 ـ مفاعل حراري، 5 ـ صنبور للتفريغ الآلي، 6 ـ مرقد

7 ـ مضخة، 8 ـ مرشح بالضغط، 9 ـ مسخن لاعطاء البخار

10 ـ حمأة ساخنة وداخلة الى المفاعل الحراري، 11 ـ حمأة معالجة وساخنة

شكل 20

مخطط لمحطة التعديل الحراري

جـ ـ التخلص من الحمأة .

يوجد طرق عديدة للتخلص من الحمأة بعد معالجتها نذكر منها :
1 ـ تفريغها في مكان معين بعد معالجتها بشكل كامل
2ـ استعمالها كسماد زراعي على شكلها السائل أو بعد معالجتها كي تسهل عملية نقلها إلى أماكن بعيدة عن محطة التنقية .
3 ـ وضعها في بئر مخصص لها بعد مزجها بمواد سيلولوزية .
4 ـ تحويلها إلى رماد ( Incinération )

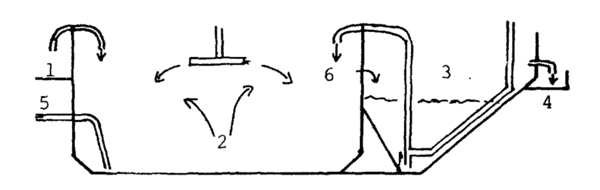
## 3 ـ محطات معالجة مياه الصرف الحضرية (مياه المجارير العامة) :

إن معالجة المخلفات السائلة واعادة استعمالها أصبح ضرورياً وخاصة في المناطق الفقيرة بمصادر المياه الطبيعية. حيث تستعمل المياه التي تمت معالجتها بالزراعة أو الصناعة أو في مجالات خاصة أخرى، ولكن اعادة استعمال المياه يتطلب معالجة متكاملة لها .
سنستعرض خلال هذه الفقرة أنواع مختلفة لمحطات المعالجة المخصصة لمياه المجارير العامة والمنتشرة بشكل واسع .

### 3-1 ـ محطات المعالجة المستعملة لأحواض التهوية المطولة :

يخصص هذا النوع من الأحواض للمحطات الصغيرة نسبياً حيث تكون سعتها محدودة. غير أن لها ميزات عديدة من أهمها سهولة استخدامها ولكن يلزمها

حوض واسع جداً بالمقارنة مع الطرق الأخرى. يوضح الشكل 21 مخططا لمحطة تعتمد على طريقة حوض التهوية المطولة والتي تتم به تهوية سطحية متبوعة بحوض للترويق مجهز بمضخة لاعادة قسماً من الحمأة إلى حوض الأكسدة.




1 ـ وصول الماء المراد معالجته بعد تعرضه لمعالجة أولية
2 ـ الأكسجة، 3 ـ الترويق، 4 ـ خروج الماء المعالج
5 ـ سحب الحمأة الزائدة، 6 ـ الحمأة العائدة الى الحوض

شكل 21
مخطط لمحطة تعتمد على التهوية المطولة

يدخل الماء الخام إلى حوض الأكسدة حيث يمزج مع الهواء والحمأة العائدة من حوض الترويق وتؤمن عملية التحريك والتهوية بواسطة جهاز موضوع على سطح الحوض بحيث تكون التهوية سطحية في هذا النوع من الأحواض. يخرج الماء من حوض الأكسدة إلى حوض الترويق ضمن فوهة تسمح للمياه بالمرور وتمنع الحمأة من المرور عبرها. ، كما يوجد مضخة لاعادة الحمأة من حوض الترويق إلى حوض الأكسدة.

## 3-2 ـ محطات المعالجة ذوي الاستطاعات المتوسطة :

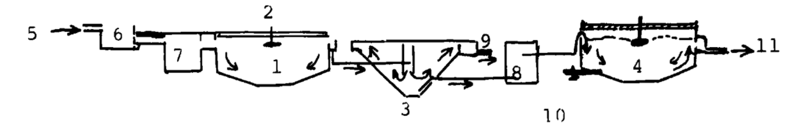
تستعمل هذه المحطات لمعالجة مياه المجارير للمدن الصغيرة (أقل من 50000 نسمة). ويوضح الشكل 22 نموذجاً لهذه المحطات ونلاحظ أنها تحتوي على حوض للتهوية متبوعاً بحوض للترويق ومرفقة بها سلسلة كاملة لمعالجة الحمأة الناتجة.

يمرر ماء الصرف على شبك معدني لفصل الأجسام الكبيرة ومن ثم على حوض إزالة الرمال قبل دخوله حوض التخلص من الزيوت والشحوم الطافية على السطح. يدخل الماء بعد ذلك إلى حوض التهوية ( 1 ) المجهز بنظام لضخ الهواء بشكل سطحي مع التحريك المستمر ( 2 ). يخرج الماء من حوض التهوية ليدخل حوق الترويق ( 3 ) حيث تفصل الحمأة المترسبة في قاع الحوض عن الماء الرائق ويعاد قسماً من الحمأة إلى حوض التهوية بواسطة مضخة خاصة أو بالاعتماد على مبدأ الجاذبية الأرضية في حالة كون حوص الترويق بمستوى أعلى من حوض التهوية. بينما يقاد القسم الفائض من الحمأة إلى حوض التثبيت ( 4 ).

تبلغ استطاعة حوض التهوية في هذه المحطة 1 إلى 2 كغ من $DBO_5$ للمتر المكعب الواحد من حجم الحوض يومياً. بينما تصل الحمولة الهيدرولية للمروق إلى 2 متر مكعب في الساعة للمتر المربع الواحد من سطح الحوض. ويحدد حجم حوض تثبيت الحمأة اعتماداً على عدد السكان للمنطقة التي تطرح فضلاتها في محطة المعالجة حيث يبنى على أساس 25 إلى 50 ليتراً للفرد الواحد.

## 3-3 ـ محطات المعالجة ذوي الاستطاعات العالية :

تحوي محطات المعالجة لمياه الصرف والمخصصة للمدن الكبيرة على المراحل التالية :

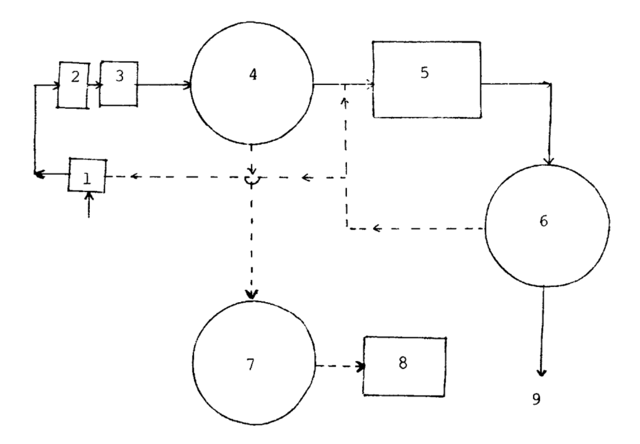



1 ـ حوض التهوية، 2 ـ خلاط وضاخ للهواء، 3 ـ حوض الترويق، 4 ـ حوض تثبيت الحمأة، 5 ـ المياه الخام المراد معالجتها، 6 ـ شبك معدني، 7 ـ حوض ازالة الرمال، 8 ـ مضخة، 9 ـ المياه المعالجة، 10 ـ الحمأة المعالجة، 11 ـ المياه الناتجة عن معالجة الحمأة

شكل 22

نموذج لمحطة معالجة مياه المجارير العامة ذات الاستطاعة المتوسطة والملحقة بقسم لمعالجة الحمأة الناتجة

- شبك لفصل الجسيمات الصلبة الكبيرة.
- حوض لازالة الرمال.
- حوض لازالة الزيوت والشحوم.
- ترقيد أولي.
- حوض التهوية.
- مروّق.




1 - حلزون رفع الماء، 2 - شبك معدنى، 3 - حوض ازالة الزيوت والرمال
4 - مرقد أولي، 5 - حوض التهوية، 6 - حوص التر ويق، 7 - حوض تحمر الحمأة
8 - السرير المجفف للحمأة، 9 - المياه المعالجة

شكل 23

محطة المعالجة للمياه وللحمأة المنشطة

ـ معـالجـة الحمأة وتتضمن حوض للتخمـر الـلاهـوائي ونظـام للتنشيف الميكـانيكي أو الحـراري. ونظراً لكون فعالية التخمر اللاهوائي تزداد عندما تكون الحمأة حديثة التشكل فإنه يتم مزج الحمأة المنشطة الزائدة عن حوض التر ويق مع الميـاه الخـام قبـل دخـولهـا حوض الترقيد الأولي مما يرفع أيضاً مردود ذلك الحوض بمقـدار 25 إلى 35٪ بالنسبـة إلى الطلب الكيميـائي الحيوي للاكسجين وبذلك يمكن اختصـار حجم حوض التهـويـة من جهـة وتـوفـير الطاقة المستعملة لمعالجة الحمأة المنشطة من جهة أخرى. ويوضح الشكل 23 مخططاً لمحطة من هذا النوع.

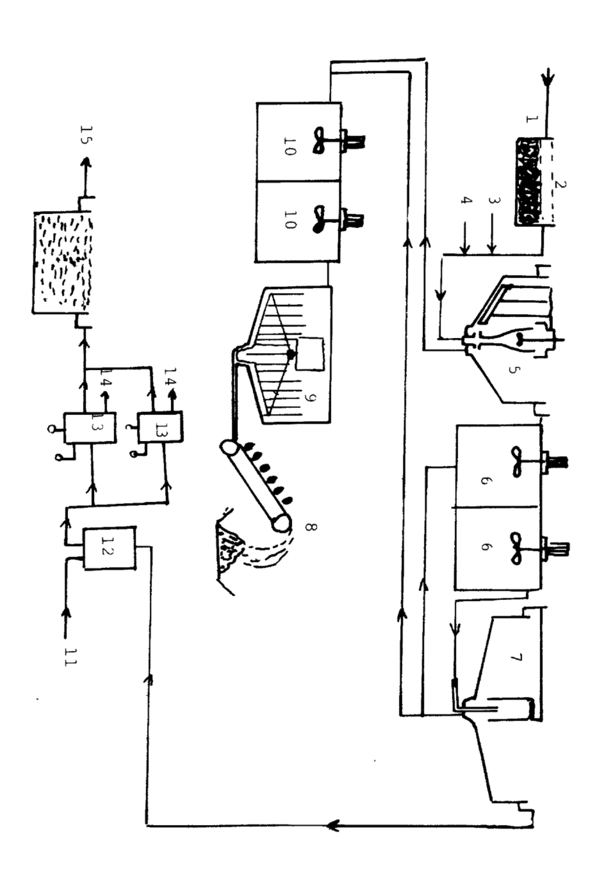
## 3-4 ـ المحطات الجامعة بين حوض التهوية والسرير البكتري :

تستعمل المحطات الجامعة بين حوض التهوية والسرير البكتري للحصول على مياه معالجة بشكل جيد وقابلة للاستخدام في مجالات عديدة. ونعطي فيما يلي وصفاً لنوعين من تلك المحطات :

1 ـ محطة Tremblade في فرنسا :

تعـالـج هذه المحطـة مخلفـات 5000 ساكن في الشتـاء و 16000 ساكن في الصيف. تضم المحطـة نظـامـاً للمعـالجـة الكيميائية متبوعة بمرقد للتخلص من الـرواسب النـاتجـة عن عمليـة التكتـل ومن ثم حوض للتهـويـة سعته 1000 متر مكعب، يتبـع حوض التهـويـة بحـوض آخـر للترقيـد ومن ثم المـرشـح البكتري والمؤلف هنـا من مرشحـين متـوازيـين سطح كل منهما 6,3 متر مربع وارتفاعه 1,5 متر. يحوي المرشح بداخله التراب المشوي على شكل حبيبات أبعادها 2 مم.

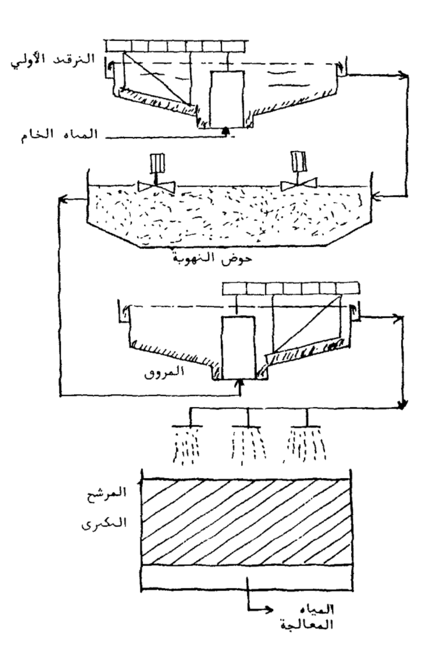
تجري عملية مزج الهواء مع الماء الخارج من حوض التر ويق في وعاء خاص بذلـك وقبـل دخـول المـاء إلى المـرشـح البكتري. تحوي المحطة أيضاً على نظام متكـامـل لمعـالجـة الحمأة المنشطـة بواسطة حوض للتثبيت سعته 600 متر مكعب متبوعاً بحوض لتكثيف الحمأة ومن ثم تنشيفها وتحويلها إلى سماد (شكل 24).


1
2
3
4
5
6
6
7
8
9
10
10
11
12
13
13
14
14
15

1 ـ المياه الخام، 2 ـ حوض ازالة الرمال والزيوت، 3 ـ الكلس الحي ، 4 ـ كلور الحديد، 5 ـ المرقد الآلي، 6 ـ حوض التهـويـة، 7 ـ المـروق، 8 ـ تنشيف الحمأة، 9 ـ مكثف الحمأة، 10 ـ حوض تثبيت الحمأة، 11 ـ هواء، 12 ـ التهوية الأولية، 13 ـ المرشح البكتري ، 14 ـ ماء الغسل للمرشح، 15 ـ الماء المعالج

شكل 24

محطة المعالجة Tremblade المتضمنة المعالجة الفيزيائية الكيميائية والحيوية مع قسم لمعالجة الحمأة




**شكل 25**

**محطة المعالجة لمدينة منهايم في ألمانيا الاتحادية**
**والمتضمنة للمعالجة الفيزيائية الكيميائية والحيوية**

2 ـ محطة Mannheim في ألمانيا الاتحادية :

تشمـل هذه المحطـة المخصصـة لميـاه الصـرف العـامة على الأجزاء التالية : (شكل 25 ) :

ـ خط لمعالجة مياه الصرف باستعمال حوض التهوية مع معالجة أولية للمياه. تبلغ الحمولة الحجمية لحوض التهوية 7,2 كغ من $DBO_5$ للمتر المكعب يومياً، بينما تبلغ الحمولة الكتلوية 1,43 كغ من $DBO_5$ لكل كيلو غرام من الحمأة المنشطة.

ـ خط لمعالجة الحمأة المنشطة وتحوي على حوض تخمر لاهوائي وحراري مع وجود مثفلة، وقد أضيف إلى تلك المحطة مرشحات بكترية.

# الفصل السادس

## المعالجة الفيزيائية الكيميائية

تطبق المعـالجـة الفيـزيائية الكيميائية بشكل مستقل أو كمرحلة أولية تسبق لمعـالجة الحيوية. يعتبر تطبيق المعالجة الفيزيائية الكيميائية بمفردها معالجة جزئية بينما تقوم بعملية تخفيض درجة التلوث عند جمعها مع المعالجة الحيوية مما يؤدي إلى تحسـين في النتـائـج المستحصـل عليهـا من المعـالجـة الحيـوية. وتستعمل المعالجة الفيـزيـائية الكيميائية بشكل دائم أو بشكل وقتي عند ازدياد درجة التلوث أو زيادة الحمـولـة الكتلويـة أو الحجميـة وهـذا ما يحدث عادة في فصـل الصيف للمـدن السياحية حيث يوجد اختلاف كبير بين كمية المياه المتدفقة على المحطة بين فصل الصيف وبقيـة الفصـول وكـذلـك بنسبـة تلوثهـا. عرفت طرق المعالجة الفيزيائية الكيميـائيـة منـذ زمن بعيد ولكن تطورها ظل محدوداً ومجال استعمالها بقي منحصراً بميـاه الصـرف الصنـاعيـة بشكـل أساسي لعدم جدوى تطبيق المعالجة الفيزيائية الكيميائية على مياه المجارير العامة الثابتة بدرجة تلوثها. أضف إلى ذلك ارتفاع تكاليف المعالجة الفيزيائية الكيميائية واعطائها كميات كبيرة من الحمأة (الوحل).
رغم السلبيـات الخـاصـة بتلك الطـريقـة فإن تطبيقها عرف انتشاراً لا بأس به في بعض المجـالات وخـاصـة في حالـة كون مياه الصرف مكونة من مخلفات صناعية ومخلفـات بشـريـة في فترات معينـة بينـما تتكـون من مخلفـات بشـرية في الفترات

الأخرى (صناعات موسمية)، وكذلك في المناطق السياحية التي تعطي مياه صرف غير منتظمة في تدفقها وفي حمولتها. تشكل المعالجة الفيزيائية الكيميائية ضمن تلك الشروط حلاً معقولاً وقادراً على التلائم مع تلك المتغيرات بشكل سريع وهذا ما لا تتوفر عليه المعالجة الحيوية.

## 1 ـ عملية التكتل:

تشكل عملية التكتل تجميعاً للأجسام الصغيرة المعلقة والغروية في كتل أكبر للاسراع في عملية الترسيب. ويتم التكتل نتيجة فعلين مختلفين:

**الفعل الأول**: يتلخص بإحداث حالة عدم استقرار في الجملة الغروية نتيجة اضافة كواشف كيميائية قادرة على إزالة القوى الدافعة المتمركزة على سطح الدقائق الغروية المعلقة في الوسط المائي. وتسمى الكواشف الكيميائية التي تؤدي هذا الدور بالمواد المخثرة ( Coagulants ).

**الفعل الثاني**: بعد تحرر الجسيمات الغروية من شحنتها نتيجة فعل التخثر، تبدأ عملية التجمع للجسيمات مع بعضها البعض لتشكل في البداية تكتلات ذات أبعاد تقارب 0,1 ميكرون تقريباً نتيجة للحركة البروانية، ومن ثم تتجمع تلك الكتل في مجموعات أكبر حجماً بتأثير تحريك خارجي ميكانيكي أو بارتباطها بالمواد المكتلة، وهو ما يسمى بالفعل التكتلي.

## 2 ـ المكتلات:

### 2 - 1 ـ المواد المخثرة المكتلة المعدنية:

تعتبر أملاح الحديد والألمنيوم من أكثر المكتلات انتشاراً في مجال معالجة المياه

وخاصة كبريتات الألمينيوم وكلور الحديد

## أ ـ أملاح الألمينيوم:

### ـ كبريتات الألمينيوم:

تستعمل كبريتات الألمينيوم ( $Al_2(SO_4)_3 , 18H_2O$ ) بمفردها أو تمزج مع الكلس الحي (CaO) . تتحول كبريتات الألمنيوم الى هيدروكسيد الألمنيوم ( $Al(OH)_3$ ) القليلة الانحلال وخاصة في الوسط المعتدل أو الضعيف الحموضة ( PH = 7 - 5,5 ).

تلتصق جزيئات هيدروكسيد الألمينيوم أو بوليميرات هيدروكسيد الألمينيوم بالدقائق الغروية، وتفرغها من شحنتها مشكلة معها دقائق غير مشحونة كهربائياً. يتأثر فعل كبريتات الألمينيوم على المعلقات الغروية بعوامل مختلفة أهمها PH الوسط وتركيز شوارد الألمينيوم وكثافة الغرويات وشحنتها.

يلعب PH الوسط دوراً أساسياً في فعالية كبريتات الألمينيوم:

ـ وسط شديد الحموضة ( $PH < 3$ ): يكون الألمينيوم في هذا الوسط على شكل شوارد حرة $Al^{+3}$ وبالتالي فإن أثره على الغرويات السالبة محدوداً ويتلخص بضغط الطبقة المنتشرة وأحداث حالة غير مستقرة في الدقيقة الغروية. بينما لا تلعب تلك الشوارد أي دور في عملية التكتل مما يجعل سرعة الترسيب بطيئة.

ـ وسط معتدل الحموضة ( $6 > PH > 3$ ): يتشكل في هذا الوسيط بوليميرات هيدروكسيد الألمينيوم الحاملة لشحنة موجبة والتي تعدل شحنة المعلق الغروي بضغط الطبقة المنتشرة وبالامتزاز معاً. وتلعب دوراً مهما في عملية التكتل مما يزيد من سرعة الترسيب.

### ـ ألومينات الصوديوم $NaAlO_2$ :

تضـاف ألـومينـات الصـوديـوم بمفردها أوتمزج مع الكلس الحي . تتفاعل ألومينات الصوديوم مع كربونات الكالسيوم الحامضية معطية هيدروكسيد الألمنيوم الذي يقوم بدور المخثر المكتل :

$$NaAlO_2 + Ca(HCO_3)_2 + H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + CaCo_3 + NaHCO_3$$

- بوليميرات هيدروكسيد الألمنيوم :

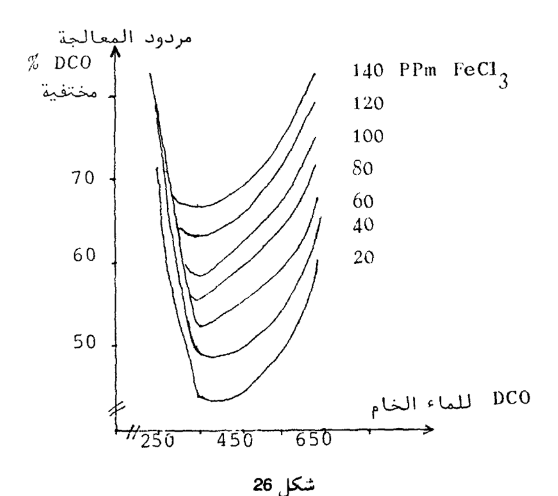
تستعمـل في الـوقت الـراهن بوليمـيرات الألمنيـوم بشكل واسع في تصفية المياه، لأنها تتمتع بصفات التخثر والتكتل وتملك فعالية أكبر من أملاح الألمنيوم الأخرى .

ب - أملاح الحديد :

تؤدي أمـلاح الحـديـد دوراً مشـابهـاً لدور أمـلاح الألمنيـوم ، غير أن مجال تأثيرها أكثر اتساعاً من أملاح الألمنيوم ، بينما تنحصر فعالية شوارد الألمنيوم ضمن مجال محدد من الـ PH ( 6 إلى 7,4 ) ، فإن أملاح الحديد قادرة على القيام بدورها في مجال يمتـد من PH=5 الى PH=10 ، ومن جهـة أخـرى فإن المكتـلات التي تشكلهـا شوارد الحـديد أثقل من تلك التي تشكلها شوارد الألمنيوم مما يجعل سرعة ترسبها أكبر ، غير ان اهم عيوب مركبات الحديد اعطائها كميات كبيرة من الراسب والتي يصعب التخلص منها فيما بعد . ومن أهـم مركبات الحديد المستعملة في مجال معالجة المياه نذكر:

- كلور الحديد $FeCl_3$
- كبريتات الحديدي $FeSo_4$
- كبريتات الحديد $Fe_2(So)_3$
- **كلور كبريتات الحديد C.S.F**

تعطي المنحنيات البيانية الواردة في الشكل 26 مردود عملية التصفية المستعملة مقدرة بتغيرات الطلب الكيميائي للأكسجين ( DCO ) بدلالة DCO لمياه الصرف الخام وبدلالة كمية كلور الحديد المضاف.




شكل 26

مردود عملية التصفية مقدرة بنسبة D C O المختفية بعد عملية المعالجة بدلالة D C O للماء الخام وبدلالة كمية الحديد المضافة.

## 2-2 ـ المكتلات اللامعدنية ومساعدات التكتل :

تستخدم المكتلات اللامعدنية ومساعدات التكتل بشكل واسع في مجال

معالجة المياه، ويتم استعمالها بمفردها لأحداث حالة التكتل أو تضاف إلى المكتلات المعدنية. يكون منشأ تلك المركبات طبيعياً أو تكون مصنعة ونذكر فيما يلي أهم تلك المركبات:

- **السيليس المنشط**: يرمز السيليس المنشط إلى محلول عديدي السيليس $(H_2SiO_3)_4$. وقد اعتبر من أهم المكتلات قبل اكتشاف البوليميرات العضوية الكهرليتية وما زال يستعمل في معالجة المياه. يحضر بالتعديل الجزئي لمحلول من سيليكات الصوديوم باستعمال حمض معدني ( $H_2CO_3$, $HCl$, $H_2SO_4$ ) أو كربونات الصوديوم الحامضية.

- **البوليميرات العضوية**: تتألف البوليميرات العضوية من جزيئات ضخمة ذات أصل طبيعي أو صناعي. وتقسم البوليميرات المصنعة إلى ثلاثة أنواع وذلك تبعاً للصفة التشردية للمجموعة الفعالة:

1 - البوليميرات غير المتشردة
2 - البوليميرات الموجبة
3 - البوليميرات السالبة.

تلعب البوليميرات دورا كبيراً في عملية التكتل باتصالها بالجسيمات المعلقة وزيادة سرعة الترسيب، وقد يمتد دورها إلى عملية التخثر في حالة البوليميرات الموجبة الشحنة. أما دور البوليميرات السالبة وغير المشحونة فينحصر دورها بالامتزاز على سطح الجسيمات الغروية واحداث حالة تكتل. تتم عملية اختيار البوليمير المناسب لنوعية المياه المراد معالجتها من خلال تجارب مخبرية على الأنواع المختلفة لها، ولا يمكن وضع قواعد عامة وثابتة لاستخدامها.

## 3 - الترقيد أو الترسيب:

يسيل الماء الخام الممزوج بالمواد الكيميائية إلى حوض الترقيد. ويتم اختيار

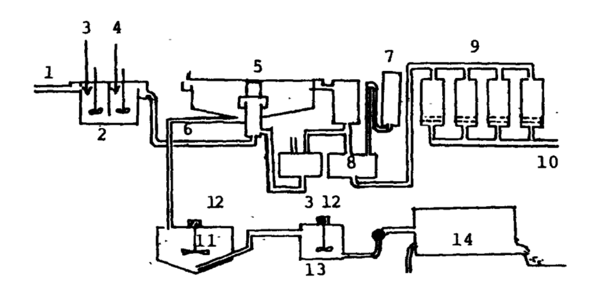
الحوض المناسب لعملية المعالجة المطلوبة حيث يوجد أنواع كثيرة من أحواض الترقيد ولكل منها مواصفاته الخاصة. غير أن أهم عامل في اختيار حوض الترقيد هو السماح للماء للبقاء في داخله فترة من الزمن كافية لترسيب التجمعات المتشكلة، وخروج الماء منه بدرجة صفاء مقبولة. تبلغ سرعة الترقيد 1,5 متر في الساعة عند استعمال البوليميرات المصنعة بينما تصل إلى 2 متر في الساعة في حالة استعمال الأملاح المعدنية كمكتلات، كما يضاف الكلس الحي لزيادة سرعة الترقيد.

تتعلق سرعة الترقيد (الترسيب) بشكل المرقد ولذلك تجري دراسة مفصلة على سرعة الترقيد وكمية المواد الصلبة الراسبة قبل انشاء المرقد، ولقد أحدثت تقنيات واسعة على أحواض الترقيد ونذكر على سبيل المثال أن هناك مرقدات خاصة ( Turbo - Circulator ) تعطي سرعة عالية للترقيد تصل إلى 20 متر في الساعة.

## 4 ـ طريقة الجمع بين المعالجة الفيزيائية الكيميائية والمعالجة الحيوية :

نظراً للمردود المتواضع نوعاً ما للمعالجة الفيزيائية الكيميائية فإنها تُجْمَع مع المعالجة الحيوية ضمن سلسلة متكاملة لتصفية مياه الصرف. تستعمل أحياناً مرحلة التكتل الميكانيكي بمفردها قبل المعالجة الحيوية أو طريقة التكتل باستعمال البوليميرات المصنعة، غير أنه في حالة المياه العالية الحمولة بالملوثات العضوية وخاصة الغروية منها فيفضل استعمال مكتلات معدنية (أملاح معدنية) لاحداث حالة تكتل كاملة. يسمح استعمال الطريقة الأخيرة باضافة المرشح البكتري لاتمام عملية التصفية بعد عملية ترقيد جيدة. كما يضاف أحياناً الفحم المنشط ضمن حوض التهوية لرفع مردوده وخاصة بالنسبة للملوثات العضوية.

يعطي الشكل 27 مخططاً لمحطة تصفية مياه الصرف لمدينة بريانسون الفرنسية والتي تعتبر محطة نموذجية لمعالجة مياه الصرف حيث أنها تتضمن المعالجة الفيزيائية الكيميائية متبوعتا بالمعالجة الحيوية على مرحلتين، حيث تشمل المرحلة الأولى المعالجة بحوض التهوية (الحمأة المنشطة)، بينما تشمل المرحلة الثانية المرشحات البكترية. وتحوي المحطة أيضاً سلسلة متكاملة لمعالجة الحمأة المنشطة الناتجة وتحويلها إلى سماد جاف.




1 ـ المياه الخام المراد معالجتها، 2 ـ حوض التكتل، 3 ـ كواشف، 4 ـ مكتلات، 5 ـ حوض التهوية باستخدام الأكسجين النقي، 6 ـ الحمأة المنشطة. 7 ـ أكسجين نقي، 8 ـ ضاغط، 9 ـ مرشحات بكترية، 10 ـ مياه معالجة، 11 ـ خزان للحمأة، 12 ـ الكلس الحي، 13 ـ حوض التعديل، 14 ـ المرشح الضاغط

شكل 27

محطة المعالجة الفيزيائية الكيميائية والحيوية لمياه الصرف لمدينة بريانسون الفرنسية والملحقة بمحطة لمعالجة الحمأة

# الفصل السابع

## معالجة مياه الصرف الصناعية

تشترك مياه الصرف المنزلية بخواص مشتركة ولا تختلف كثيراً من مدينة لأخرى مما يسهل تعميم عمليات المعالجة لها، بينما يختلف الوضع بالنسبة لمياه الصرف الصناعية حيث تختلف المخلفات الصناعية من صناعة لأخرى نتيجة اختلاف المواد الأولية للصناعة والمواد الناتجة أو المصنعة. يوجد قواعد عامة لطرح مياه الصرف في المياه السطحية أو لاستعمالها في ري المزروعات، وتتمثل تلك القواعد بتحديد محتوى مياه الصرف من $DBO_5$ و DCO و MES. غير أن تلك الشروط غير كافية بالنسبة لمياه الصرف الصناعية ويجب إضافة شروط خاصة بكل صناعة للتأكد من غياب الملوثات أو المواد الضارة المعدنية والعضوية المستعملة في تلك الصناعة؛ ومن الصعب وضع قواعد دقيقة وإن كان هناك شروط عامة لطرح مياه الصرف في المياه السطحية (ملحق 1).

يجب الالمام ببعض المعلومات الهامة الخاصة بنوعية مياه الصرف قبل تطبيق طريقة المعالجة عليها ومن أهم تلك المعلومات:

- معرفة الملوثات الموجودة في المياه المراد معالجتها وتحديد مدى تأثيرها على البكتريا ومدى تأثرها بالكواشف الكيميائية.
- خواص مياه الصرف وتركيبها.
- طريقة تنظيم المجارير داخل المنشأة الصناعية، ومعرفة إذا كان هناك فصل بين المجارير العامة ومياه الصرف الصناعية.

بعد معرفة تلك المعلومات يمكن وضع مخطط للمعالجة معتمداً على طرق التصفية الفيزيائية الكيميائية بمفردها أو الطريقة الحيوية أو جمع الطريقتين معاً.

تصنف الملوثات الموجودة في مياه الصرف تبعاً لطريقة المعالجة:

- عناصر غير منحلة ويمكن فصلها فيزيائياً بوجود مواد مكتلة أو بدونها. ونذكر من تلك المواد الزيوت والشحوم والفحوم الهيدروجينية والتي تفصل بالتعويم، بينما تفصل المواد المعلقة والغروية بالتكتل والترقيد مثل الرمال وأكاسيد المعادن وهيدروكسيدات المعادن والكبريت الغروي واللبن النباتي ( Latex ) وغيرها.

- عناصر عضوية تفصل بالامتزاز: تمتز بعض المواد العضوية المنحلة في مياه الصرف على سطح بعض المواد المازة وخاصة الفحم المنشط، ومن تلك المواد القابلة للامتزاز الملونات والمنظفات والجزيئات الضخمة والمركبات الفينولية.

- عناصر تفصل بالترسيب: ترسب المعادن السامة في مجال معين من PH الوسط (Al,Ti,Be,Ni,Zn,Cu,Fe,Cr,Hg,Pb) ويمكن ترسيب عناصر أخرى غير معدنية مثل الكبريتيت والفوسفات والكبريتات والفلور بإضافة عناصر كيميائية.

- عناصر تفصل تحت الفراغ: تفصل المواد القابلة للتبخر تحت الفراغ مثل كبريت الهيدروجين والأمونيا والكحولات والفينولات وغيرها.

- عناصر تفصل بالأكسدة والارجاع: تستخدم بعض المؤكسدات القوية أو المرجعات القوية للتخلص من الكثير من الملوثات القابلة للأكسدة أو الارجاع مثل السيانور والكروم السداسي والكلور والنتريت وغيرها.

- عناصر تزال باستعمال المبادلات الشاردية أو الحلول العكوس ( Osmose Inverse ): تفصل بهذه الطرق المركبات العضوية الشاردية وأملاح الحموض القوية والأسس القوية وغيرها.

- عناصر تزال بالمعالجة الحيوية: تحلل بالطرق الحيوية كافة العناصر القابلة للتقهقر الحيوي مثل السكر والبروتينات والفينولات كما يمكن معالجة مركبات

أخرى مختلفة بعد اجراء عملية تنمية للبكتريا المناسبة لتلك المركبات (فورمول، أنيلين، منظفات، . . .).

وسنستعرض فيما يلي مواصفات مياه صرف صناعية وطرق المعالجة المطبقة عليها. ونظراً لاستحالة التعرض إلى كل أنواع الصناعات الموجودة حالياً فإننا سنحاول استعراض أهم تلك الصناعات وخاصة المتميزة باستهلاكها لكميات كبيرة من المياه والمنتشرة بشكل واسع في البلدان النامية.

## 1 ـ الصناعات الزراعية والغذائية:

تتميز مياه الصرف الناتجة عن الصناعات الغذائية بحمولتها العالية من المركبات العضوية القابلة للتحلل الحيوي وتشترك بهذه الخاصة مع مياه الصرف المنزلية. وتختلف نوعية المركبات الكيميائية المطروحة باختلاف الصناعة الطارحة لها، ونظراً لكون معظم الصناعات الغذائية موسمية فإن تدفق مياه الصرف الناتجة عنها غير ثابت ومرتبط بفترات العمل وهذا ما يطرح مشكلة جدية أثناء اختيار طريقة المعالجة وخاصة في حالة المعالجة الحيوية.

### 1 - 1 ـ صناعة الحليب ومشتقاته:

يختلف تركيب مياه الصرف الناتجة عن مصانع الحليب ومشتقاته باختلاف مصدرها، حيث تعطي مصانع التعقيم والتعبئة مياه صرف حاوية على الحليب بشكل ممدد والناتج عن عمليات الغسل للأجهزة مع وجود الحمض المعدني (حمض الازوت) أو الصود الكاوي المستعملان في عمليات الغسيل. بينما تعطي مصانع الجبن مياه غنية بمركبات اللاكتوز والبروتين وغيرها. ويختلف تدفق

وتركيب مياه الصرف أيضاً باختلاف شروط عملية التصنيع من تهريب للحليب أو مزج مياه التبريد مع مياه الصرف أومعالجة الحليب، ويكفي أن نعلم أن قيمة D $BO_5$ للحليب الكامل تبلغ 100 غرام للتر الواحد. يعطي الجدول التالي قيماً تقريبية لـ $DBO_5$ الناتجة عن مختلف الصناعات القائمة في معامل الحليب ومشتقاتها ( جدول 15 ).

| النشاط الصناعي | غرام من $DBO_5$ من أجل 100 ليتر من الحليب المعالج |
|---|---|
| مسحوق الحليب | 100 إلى 300 |
| زبدة ومسحوق الحليب | 370 إلى 630 |
| زبدة | 100 إلى 300 |
| جبن | 650 إلى 1050 |
| تعبئة الحليب | 350 إلى 750 |

جدول 15 : قيم $DBO_5$ لمياه الصرف الناتجة عن صناعة الحليب ومشتقاته

يوجد داخل مصنع الحليب ومشتقاته ثلاثة أنواع لمياه الصرف هي :

1 ـ مياه الصرف الصناعية الملوثة.
2 ـ مياه الصرف الناتجة عن المغاسل والمراحيض.
3 ـ مياه التبريد غير الملوثة.

## ا ـ حجم وتراكيب وخواص مياه الصرف :

تبلغ كمية مياه الصرف الملوثة 0,5 إلى 3 مرات من كمية الحليب المعالج ضمن المصنع، بينما تبلغ كمية المياه المستعملة للتبريد 2 إلى 4 من كمية الحليب

المعالج . وتحوي مياه الصرف الناتجة عن صناعه احليب ومشتقاته مواد مختلفة مثل الـزلال ( Albumines ) وجسيـمات دسمـة غير منحلة والـلاكتوز المنحل وغيرها .
ونورد فيما يلي (جدول 16 ) تركيب الحليب بشكل متوسط :

| المادة | النسبة المئوية |
|---|---|
| ماء | % 88 |
| جبنين وزلال | % 3,2 |
| مواد دسمة | % 3,5 |
| لاكتوز | % 4,5 |
| بقايا | % 0,8 |

جدول 16 : تركيب الحليب بشكل تقريبي .

ولاعطـاء فكـرة أكثـر وضـوحـاً عن تركيب ميـاه الصرف الناتجة عن مصنع الحليب ومشتقـاتـه نورد في الجدول 17 متوسط النتائج المستحصل عليها من خلال تحاليل عديدة .

تحوي ميـاه الصـرف أيضاً على عناصر مغذية للنباتات 30 مغ من الآزوت في الليتر و 2 إلى 3 مغ من حمض الفوسفور ( $P_2O_5$ ) في الليتر و 3,4 مغ في الليتر من البوتاس ( $K_2O$ ) بالاضافة إلى عناصر أخرى .

وتتراوح قيمة الطلب الكيميائي الحيوي للا دسجين ( $DBO_5$ ) بين 200 إلى 6000 مغ / ليتر . تتميز مخلفات مصانع الحليب بتحولها السريع إلى حموض أثناء عمليـة التخمـر ويسـاعـد على هذا التحـول وجود مادة اللاكتوز التي تتحول إلى حمض الـلاكتيـك والبـوتـير يـك ، وتؤدي تلك التحولات إلى انخفاض قيمة PH الـوسـط لمياه الصـرف لتصـل إلى 2 . إن تشكل تلك الحموض العضوية في مياه

| مصدر مياه الصرف | البقايا الصلبة الكلية مغ/ل | الزلال مغ / ل | المواد الدسمة مغ / ل | لاكتوز مغ / ل | pH | الأكسدة مغ/ل بالبرمنغنات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تصنيع الحليب | 4,6 ـ 1,5 | 1,0 ـ 0,2 | 1,1 ـ0,3 | 1,4ـ0,2 | 10,1ـ8,3 | 7,2ـ2 |
| تصنيع الزبدة | 7,5 ـ 0,4 | 2,9ـ 0,02 | 0,6ـ0,1 | 1,6ـ0,02 | 9,7 ـ 6,5 | ـ0,08 13,5 |
| تصنيع الجبن | 16,2 ـ 1,2 | 2,0 ـ 0,4 | 0,5ـ0,3 | 9,4ـ0,1 | 7,9 ـ 4,3 | ـ 4,0 20,1 |
| مياه الصرف الكلية | 3,1 ـ 1,2 | 0,38 ـ 0,34 | 0,35ـ0,24 | 0,92ـ0,35 | 9,4 ـ 7,4 | ـ 1,4 3,7 |

جدول 17 : نتائج تحليل مياه الصرف للأقسام المختلفة لمصنع الحليب .

الصرف الناتجة عن مصانع الحليب يؤدي إلى تغيير كبير في النسبة بين الطلب الكيميائي الحيوي للأكسجين والأكسدة بالبرمنغنات حيث تبلغ تلك النسبة $\frac{1}{1,8}$ في مياه الصرف لمصانع الحليب بينما تبلغ $\frac{1}{4}$ في مياه المجارير العامة. ونظراً لأهمية تلك النسبة في عملية معالجة مياه الصرف فمن الضروري أخذها بعين الاعتبار أثناء وضع محطة المعالجة موضع التنفيذ.

## ب ـ طرق المعالجة:

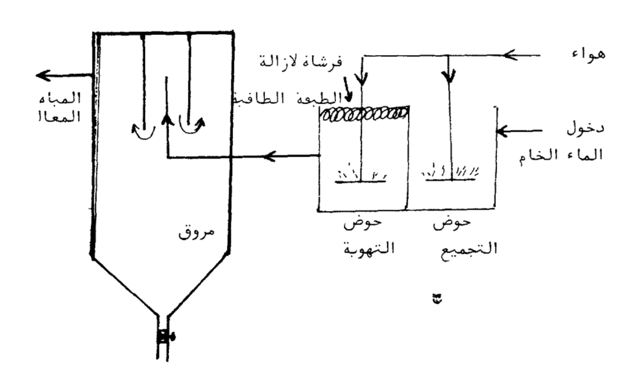
1 ـ استخدام مياه الصرف في ري الأراضي الزراعية: تستخدم مياه الصرف الناتجة عن مصانع الحليب ومشتقاته في ري الأراضي الزراعية بشكل مباشر أو بعد اجراء معالجة أولية لها. وتتميز باعطاء مردود زراعي ممتاز لاحتوائها على مواد مغذية للنباتات، ولكن لا بد من توفر شروط محددة لاستخدامها ومن أهم تلك الشروط وجود الحقول الزراعية بجانب المصنع كي لا تتجاور فترة تخزين المياه 5 ساعات لتجنب حدوث التحولات الكيميائية الحيوية المعطية للحموض العضوية. يفضل مزج مياه المجارير العامة للمصنع مع المخلفات الصناعية قبل استخدامها في ري الأراضي الزراعية. تجري عملية معالجة أولية لمياه الصرف قبل استخدامها في ري المزارع وقد تنحصر عملية المعالجة بإمرار المياه على شبك معدني (أقل من 10 مم) وقد تمتد أحياناً أخرى إلى استخدام حفرة التعفن.

2 ـ التصفية الحيوية باستعمال المرشح البكتري: تطبق طريقة المعالجة بواسطة المرشح البكتري وباستخدام مرشح وحيد للمصانع الصغيرة أو مرشحان يفصل بينهما حوض للترقيد مما يرفع من قدرة المحطة على المعالجة والتي تصل إلى 0,3 كغ من $DBO_5$ للمتر المكعب الواحد من حجم المرشحات يومياً مع اعطاء مياه مصفاة بشكل جيد. ويمكن رفع المردود بإمرار جزء من المياه المصفاة مرة ثانية بعد

مزجها مع المياه الخام قبل دخولها إلى المرشح.

3 ـ طريقة المعالجة باستعمال الحمأة المنشطة: تتميز مياه الصرف لمصانع الحليب باحتوائها على مواد سريعة التحلل بالطريقة الحيوية وتشكيل كميات كبيرة من الحمأة، مما يتطلب ادخال بعض التعديلات على أحواض التهوية التي تم استعراضها في فصل سابق. يوضح الشكل 28 مخططاً لمحطة معالجة مياه الصرف لمصنع للحليب ومشتقاته في ألمانيا الاتحادية.

شكل 28 : مخطط لمحطة معالجة مياه الصرف لمصنع الحليب




شكل 28

مخطط لمحطة معالجة مياه الصرف لمصنع الحليب

يحسب حجم حوض التهوية (حوض 2 ) بحيث يسمح للماء بالبقاء داخله يوماً كاملاً ويكون مسبوقاً بحوض التجميع وهو مساو له بالحجم كما تتم عملية تغذية مستمرة لكلا الحوضين بالهواء.

تستعمل طريقة نظام الأكسدة السريعة ونظام التسريع الهوائي (راجع الفصل الخامس) في معالجة مياه الصرف الناتجة عن مصانع الحليب، ويتراوح مردود التصفية من 96 الى 99% من قيمة الطلب الكيميائي الحيوتي للأكسجين (D B O5).

4ـ التهوية: تجري عملية تهوية لمياه الصرف خلال فترة زمنية تمتد من 5 إلى 6 ساعات دون استخدام الحمأة المنشطة وتعطي هذه الطريقة تصفية جزئية لمياه الصرف حيث يصل المردود إلى 70٪ من قيمة الطلب الكيميائي الحيوي للأكسجين.

5ـ طريقة الترشيح باستعمال التربة: تستعمل هذه الطريقة بشكل محدود في معالجة مياه الصرف الناتجة عن مصانع الحليب لأنها تؤدي إلى انطلاق روائح كريهة جداً وخاصة في فصل الصيف.

## 1 - 2 ـ صناعة حفظ الخضار والفواكه:

### أ ـ مواصفات مياه الصرف:

تعمل مصانع حفظ الخضار والفواكه خلال فترات محددة من السنة (موسمية) وتطرح نوعين من مياه الصرف:

ـ **النوع الأول**: مياه غسيل الخضار والفواكه وتكون درجة تلوثها ضعيفة جداً.

ـ **النوع الثاني**: المياه القادمة من أحواض الطهي والغلي وتكون درجة تلوثها

عاليـة وتختلف من صنـاعـة لأخـرى (تكـون قيمـة $DBO_5$ قريبة من 25000 مغ ليتر). ويعطي الجدول 18 درجة تلوث بعض مياه الصرف الناتجة عن الصناعات الغذائية معبر عنها بقيمة $DBO_5$ غرام لكل كيلوغرام من المواد المحفوظة المصنعة، مع كمية المياه الناتجة عن تصنيع 570 كيلوغرام من المواد المحفوظة.

| نوع الصناعة | درجة التلوث<br>غ من $DBO_5$ لكل 1 كغ<br>من المواد المحفوظة | كمية المياه الناتجة<br>عن تصنيع 570 كغ |
|---|---|---|
| الفاصوليا الخضراء | 3 — 5 | 6,6 م$^3$ |
| الفاصوليا البيضاء | 5 — 7,5 | — |
| الجزر | 18 — 20 | 3,6 م$^3$ |
| البازلياء | 15 — 18 | 3,9 م$^3$ |
| السبانغ | 25 — 35 | 3,1 م$^3$ |
| عصير البندورة (الطماطم) | 6 | 2,4 م$^3$ |
| الفطر | 20 | — |
| عصير الفواكه | 3 — 6 | — |

جدول 18 : درجة التلوث وكمية مياه الصرف الناتجة عن صناعة حفظ الفواكه والخضر.

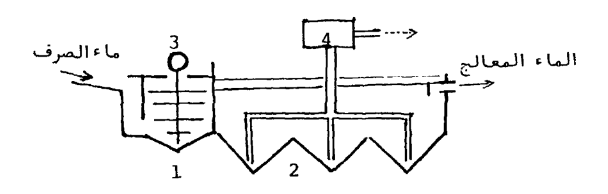
تتمتـع ميـاه الصرف باحتوائها على السكريات بتراكيز عالية، والآزوت في ميـاه الخضـار ولكنهـا تفتقـر إلى الفوسفور الكافي لعملية المعالجة الحيوية. ويعطي الجدول 19 نموذجاً لتحليل مياه الصرف الناتجة عن مصنع لحفظ الخضار والفواكه علماً أن تلك القيم تختلف من مصنع لآخر تبعاً للتقنية المستعملة في عملية الطهي والتعليب.

| نوع الصناعة | مواد معلقة مغ / ليتر | مواد منحلة مغ / ليتر | أكسدة بالبرمنغنات مغ / ليتر | PH | $DBO_5$ مغ / ليتر |
|---|---|---|---|---|---|
| عصير البندورة ( طماطم ) | 450 | 2500 | 1100 | 4,9 | 1150 |
| البازلياء | 300 | 6000 | 2150 | 4,7 | 2710 |
| الفاصوليا الخضراء | 60 | 1670 | — | 7,6 | 240 |
| السبانغ | 580 | 1700 | 40 | 7,0 | 280 |
| الجزر | 1830 | 5800 | — | 7,1 | 1110 |
| دراق | 600 | — | 2000 | 7,6 | 1400 |
| المشمش | 260 | — | 700 | 7,6 | 200 |

جدول 19 : نموذجاً لتحليل مياه الصرف الناتجة عن بعض صناعات الحفظ والتعليب لعدد من الخضر والفواكه

ب ـ طرق المعالجة:

تجري عملية غربلة لمياه الصرف باستخدام شبك معدني ذو ثقوب أبعادها 0,6 مم في بداية عملية المعالجة. تتبع مرحلة الغربلة بترقيد ميكانيكي وقد يضاف أحياناً كواشف كيميائية لأحداث حالة تكتل وزيادة سرعة الترسب، وتمثل تلك الكواشف الكلس الحي بمفرده أو يضاف إليه مركبات الحديد أو الألمنيوم، وتعرف تلك المرحلة بالمعالجة الفيزيائية الكيميائية. يعطي الشكل 29 مخططاً لطريقة التصفية الفيزيائية الكيميائية في مصانع حفظ الخضار والفواكه والمنتشرة في الولايات المتحدة الأمريكية.




1 ـ حوض المزج مع التحريك، 2 ـ حوض الترقيد، 3 ـ المحرك
4 ـ مضخة لسحب الحمأة من حوض الترقيد

شكل 29

مخطط لمحطة التصفية الفيزيائية الكيميائية لمياه الصرف لمصنع حفظ الخضار والفواكه

يصب ماء الصرف في حوض صغير مجهز بمحرك بطيء ويضاف إليه الكلس الحي والكواشف الكيميائية الأخرى. يحرك المزيج لمدة 15 دقيقة قبل أن

ينتقل إلى حوض الترويق (حوض الترقيد) حيث يمكث الماء في حوض الترويق لمدة تتراوح بين نصف ساعة إلى ساعة كاملة. يفصل الراسب عن الماء الرائق والذي يخرج من الجهة الأخرى للحوض.

يمكن اجراء عملية المعالجة الحيوية بعد المعالجة الفيزيائية الكيميائية ويستعمل في المعالجة الحيوية المرشح البكتري بشكل عام لأن طريقة حوض التهوية لا تتناسب والصناعات الموسمية لصعوبة الاحتفاظ بالحمأة المنشطة خلال فترة توقف المصنع عن العمل.

تستعمل أيضاً طريقة المعالجة بواسطة التربة وذلك بعد مزج مياه الصرف الناتجة عن صناعة حفظ الخضار والفواكه مع نسبة من المياه النقية أومياه المجارير العامة بعد إزالة الأجسام الصلبة منها.

## 1 - 3 ـ مصانع حفظ اللحوم والمسالخ:

تختلف درجة تلوث مياه الصرف الناتجة عن المسالخ باختلاف عدد الحيوانات المذبوحة يومياً وباختلاف طرق التخلص من البقايا السائلة والصلبة الناتجة كالدم والفضلات الأخرى. يوضح الجدول 20 نموذجاً لمياه الصرف الناتجة عن أحد المسالخ الكبيرة في ألمانيا الاتحادية.

تعطي مصانع حفظ اللحوم مياه صرف ناتجة عن المسالخ الموجودة داخل المصنع اضافة إلى المياه الناتجة عن معالجة اللحوم قبل تعليبها. يجب معالجة مياه الصرف الناتجة عن المسالخ بالغربلة ومن ثم الترقيد والتعويم قبل طرحها في مياه المجارير العامة مما يخفض درجة تلوثها بمقدار 15٪.

تسترجع المواد الدسمة والبروتينات من مياه الصرف لاستعمالها في صناعات معينة (صناعة الصابون. . . ) وتتم عملية الاسترجاع بواسطة أحواض التعويم (التطويف) كما تستخدم المواد الناتجة في تغذية الحيوانات.

تعطي مياه الصرف الناتجة عن المسالخ ومصانع حفظ اللحوم نتائج جيدة في المعالجة الحيوية لها، غير أن احتوائها على نسبة عالية من المواد الدسمة يؤدي إلى صعوبات في حالة استعمال طريقة المرشحات البكترية حيث تشكل تلك المواد طبقة على سطح المرشح البكتري وترفع قيمة الضغط الخلفي مما يؤدي إلى انخفاض كبير في فعالية المرشح البكتري .

| | |
|---|---|
| المواد القابلة للترقيد مل / ليتر | 10,75 |
| PH | 7,4 |
| مواد غير منحلة مغ / ليتر | 580 |
| المتبقي الثابت مغ / ليتر من المواد غير المنحلة | 81,6 |
| المواد المنحلة مغ / ليتر | 1206,1 |
| المتبقي الثابت مغ / ليتر من المواد المنحلة | 272,4 |
| مواد شحمية مغ / ليتر | 108 |
| أزوت مغ / ليتر | 145 |
| حمض الفوسفور ( $P_2O_5$ ) مغ / ليتر | 18,7 |
| بوتاسيوم( $K_2O$ ) مغ / ليتر | 28,7 |
| كلس حي ( CaO ) مغ / ليتر | 131,0 |
| أكسدة بالبرمنغنات مغ / ليتر | 153,6 |
| $DBO_5$ مغ / ل | 838,0 |

جدول 20 : تحليل مياه الصرف لأحد المسالخ الكبيرة في ألمانيا الاتحادية .

## 1-4 ـ صناعة السكر:

يوجد ثلاثة مصادر أساسية للتلوث المائي في مصنع السكر:

- المياه المستعملة لغسل وتنظيف الشوندر السكري
- المياه الناتجة عن معالجة الشوندر السكري
- المياه الناتجة عن عمليات تجديد المبادل الشاردي المستعمل لازالة التمعدن من عصير السكر.

تتكون الملوثات القادمة من تنظيف السكر من مواد معلقة وقابلة للترقيد ولذلك يمكن التخلص منها بإجراء عملية ترقيد لمياه الغسيل. تضاف مرحلة الغربلة قبل عملية الترقيد وكذلك حوض خاص بإزالة الرمال مما يرفع مردود التصفية بشكل كبير. تصاف أحياناً المواد المكتلة إلى حوض الترقيد ممزوجة بالكلس الحي لرفع مردود التصفية بحيث يعاد استعمال المياه المصفاة مرة أخرى في عملية غسل الشوندر السكري. وترتفع نسبة المواد القابلة للتخمر في المياه المستعملة باستمرار وقد وجد أن ارتفاع قيمة $DBO_5$ يبلغ 70 مغ / ليتر يومياً مما يؤدي إلى ارتفاع مستمر لقيمة $DBO_5$ في المياه لتصل إلى 3000 ـ 5000 مغ / ليتر من $DBO_5$ في نهاية موسم العمل. تستخدم طريقة التخمر اللاهوائي لازالة التلوث العضوي من ماء الغسيل وذلك بجمعها في أحواض كبيرة وتركها الفترة الفاصلة بين موسمين متتاليين، وتعتبر هذه الطريقة اقتصادية ولذلك فإنها تستعمل بشكل واسع رغم وجود بعض المساوىء لها مثل الرائحة الكريهة الصادرة عن تلك الأحواض والحاجة إلى مساحات كبيرة لبناء تلك الأحواض. ولذلك يتم استعمال أحواض التهوية في بعض الحالات للتخلص من المساوىء السابقة. يلخص الجدول 21 تحولات قيمة $DBO_5$ لحوض التخمر اللاهوائي خلال أشهر السنة التي يتوقف خلالها مصنع السكر عن العمل.

| الشهر | قيمة $DBO_5$ مغ / ليتر | الشهر | قيمة $DBO_5$ مغ / ليتر |
|---|---|---|---|
| 3 | 1239 | 7 | 546 |
| 4 | 1169 | 8 | 284 |
| 5 | 847 | 9 | 106 |
| 6 | 719 | 10 | 38 |

جدول 21 : تحولات قيمة $D B O_5$ خلال أشهر السنة لمياه غسل الشوندر المتجمعة في حوض التخمر اللاهوائي

نلاحظ من خلال استعراض نتائج التحليل الواردة في الجدول أعلاه أن التلوث العضوي ينخفض بشكل كبير جداً ليصل إلى قيمة معقولة في بداية موسم العمل اللاحق ويعاد استعمال تلك المياه من جديد في عملية غسيل الشوندر السكري.

تجري عملية تقطير داخل مصانع السكر للتخلص من دبس الشوندر السكري ( Mélasse de Betterave ) المشرد واللاسكري، ويخرج مع مياه الصرف بشكل مركز مما يعطيها درجة عالية من التلوث العضوي ( $DBO_5 = 5 - 10$ غرام / ليتر). تعالج تلك المياه بواسطة جهاز الطرد المركزي (المثفلة) لفصل دبس الشوندر واستعماله كعلف للحيوانات. كما يمكن معالجة تلك المياه بطريقة المرشح البكتري والتي تعطي مردوداً عالياً خاصة وأن درجة حرارة مياه الصرف مرتفعة مما يرفع فعالية التحولات الحيوية ويستخدم المرشح البكتري ذو الطبقات المتعددة. يلحق أحياناً بالمرشحات البكترية حوض التهوية أوحوض التخمر اللاهوائي لاتمام عملية المعالجة وللتخلص النهائي من دبس الشوندر والمواد الكحولية الأخرى الناتجة عن عملية تصنيع السكر.

## 1 - 5 ـ مصانع الزبدة والسمن والزيوت :

تتكون المواد الأولية المستعملة في مصانع الزبدة والسمن والزيوت من المواد الـدهنيـة الصلبـة والزيوت الدسمة الحيوانية أو النباتية وهي مزيج من الغليسير يد والحمـوض الـدسمـة وتحـوي تلك المـواد كميـات صغـيرة من لعـاب النبـاتـات والحمـوض الـدسمـة الحرة ومواد ملونة ومواد عطرية . تعامل المواد الأولية بحمض الكـبر يت ( 1,5 - 1 ٪) للتخلص من المـركبـات الأزوتيـة أو بهدروكسيد الصوديوم للتخلص من الحمـوض الـدسمـة الحـرة ومن ثم تمرر على الفحم المنشـط لامتزاز الشوائب الأخرى . تجري عمليات غسيل بالماء أو البخار لتلك المواد للتخلص من حمض الكبر يت أو هيدروكسيد الصوديوم أو المواد الأخرى المستعملة أثناء عملية التصنيع .

تحوي ميـاه الصـرف إذاً ميـاه حمضية أو قلوية ناتجة عن عملية الغسيل ومياه ناتجـة عن تكـاثف البخـار المشبـع بالـروائـح إضافة إلى ما تحمله من المواد الأولية المستعملة في الصناعة أو المواد المصنعة . تجري عملية المعالجة للمياه الحاوية على المـواد الـدسمـة بشكل منفصل عن بقية مياه الصرف . تزال المواد الدسمة من مياه الصرف بواسطة حوض إزالة الزيوت والمواد الطافية مع استخدام كواشف كيميائية مساعدة على التكتل والتعويم (كلسي حي ، كلور الكالسيوم ، أملاح الألمنيوم أو الحـديـد ، مسـاعـدات عضـويـة ، . . ) . وبعد فصل المواد الدسمة تتم معالجتها بالتجفيف ومن ثم بحرقها . بينما تتابع عملية تصفية المياه في أحواض الترقيد (مدة بقاء الماء في حوض الترقيد تتراوح بين 1,5 إلى 2 ساعة) وتستعمل تلك المياه فيما بعد في ري المزروعات بعد تعديل قيمة PH الوسط وتتمتع تلك المياه بميزات تفوق تلك النـاتجـة عن مصـانـع الحليب بالنسبـة لتغـذيـة النباتات . ونشير أخيراً إلى امكـانيـة استخـدام الطرق الحيوية لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن مصانع الزبدة والسمن والزيوت على شرط أن تزال الزيوت والمواد الطافية منها قبل معالجتها .

## 2 ـ صناعة الورق:

### 2 - 1 ـ صناعة الورق العادي والورق المقوى (الكرتون):

تتميز مياه الصرف الناتجة عن مصانع الورق العادي والورق المقوى بما يلي:

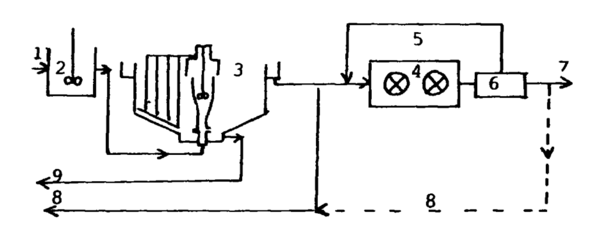
ـ يستهلك الطن الواحد من ورق الصحف والورق المقوى 30 متر مكعب من الماء بينما يصل استهلاك الطن الواحد من الورق الأبيض 200 متر مكعب ماء.

ـ تحوي مياه الصرف على ملوثات غير منحلة مثل خيوط السيليلوز وكربونات الكالسيوم والسيليس والأميدون وهيدروكسيد الألمنيون وغيرها.

يتضح مما سبق أن صناعة الورق تستهلك كميات كبيرة من المياه وأن نوعية الملوثات المحمولة في مياه الصرف تتناسب والطرق الفيزيائية الكيميائية للمعالجة كما يمكن اعادة استعمال المياه بعد معالجتها في عملية التصنيع. تستعمل طريقة التكتل بواسطة كبريتات الألمنيوم والتي تتبع بعملية ترقيد أو تعويم للمواد المعلقة وللغرويات. تعالج المواد الطافية أو الراسبة ويعاد استعمالها من جديد في صناعة الورق أو تجفف وتطرح خارجاً وذلك تبعاً لنوعية الورق المصنع.

يوضح الشكل 30 مخططاً نموذجياً لمحطة المعالجة المستعملة في مصانع الورق. تتضمن المحطة معالجة فيزيائية كيميائية لمياه الصرف كما يعالج قسماً منها معالجة حيوية بعد المعالجة الفيزيائية الكيميائية أما القسم الآخر فيعاد استعماله مباشرة في المصنع ودون معالجة حيوية..

يلخص الجدول 22 النتائج التحليلية لمياه الصرف الخام وللمياه التي تمت معالجتها في ثلاثة مصانع مختلفة والتي تنتج أنواعاً مختلفة من الورق المصنع.




1 ـ المياه الخام، 2 ـ التعديل والتكتل، 3 ـ المرقد، 4 ـ حوض التهوية (المعالجة الحيوية)، 5 ـ المياه المعاد معالجتها حيوياً، 6 ـ حوض الترويق، 7 ـ المياه المقذوفة في المجارير العامة، 8 ـ المياه المعالجة والمعادة للمصنع للاستخدام ثانية، 9 ـ الحمأة العائدة للمصنع للاستعمال مرة أخرى أو الى محطة معالجة الحمأة.

شكل 30

مخطط لمحطة معالجة المياه الناتجة عن مصنع الورق

| نوع الورق المصنع | المياه الداخلة لمحطة المعالجة | | | المياه الخارجة من حوض التكتل والترقيد | | | المياه المعالجة حيوياً | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MES mg / l | DCO mg / l | $DBO_5$ mg / l | MES DCO | DCO mg / l | $DBO_5$ mg / l | MES mg / l | DCO mg / l | $DBO_5$ mg / l |
| أوراق التغليف | — 300 | 1550 | 780 | 30 | 1230 | 700 | 30 | $^{+}$100 — | —30 |
| والورق المقوى | 3000 | | | | | | | 150 | 40 |
| الأوراق البيضاء | —100 | 200 | 90 | —25 | —100 | —55 | 30 | $^{+}$50 | 20 |
| | 700 | | | 20 | 210 | 100 | | | |
| أوراق الصحف | 550 | 2700 | 1230 | 150 | 2500 | 1110 | 80 | $^{++}$300 | 60 |

جدول 22 : النتائج التحليلية لمياه صرف ناتجة عن مصنع للورق ومعالجة ضمن محطة تحوي على مرحلة المعالجة الفيزيائية الكيميائية ( عملية تكتل وترقيد ) تليها مرحلة المعالجة الحيوية المؤلفة حوض التهوية (+) أو المرشح البكتيري وحوض التهوية معاً (++) القياسات الواردة في الجدول مقدرة بمغ / ليتر .

## 2-2 ـ صناعة عجينة الورق:

يختلف تركيب مياه الصرف الناتجة عن مصانع عجينة الورق باختلاف المادة النباتية الأولية المستعملة. ويوجد بشكل عام أربعة طرق لتحضير عجينة الورق هي:

ـ طريقة كرافت (Kraft): تعتمد الطريقة على الطبخ القلوي للخشب ( Na2S,NaOH) مما يسمح بإذابة 40 الى 50٪ من المواد الجافة في الخشب. تتواجد تلك المركبات العضوية المنحلة على شكل سائل أسود مع مياه الغسيل، ثم تجري لها عملية تبييض وتطرح المياه الملونة المستعملة في تلك العملية مما يجعلها مصدراً أساسياً للتلوث الناتج عن صناعة عجينة الورق.

ـ طريقة ثنائي الكبريتيت ( Bisulfite ) يعامل الخشب بمحلول من ثنائي الكبريتيت معطياً عجينة بيضاء جاهزة مع مردود يصل إلى 50٪.

ـ الطريقة النصف كيميائية ( mi - Chimique ): تعتمد هذه الطريقة على المعالجة الكيميائية المترافقة مع فعل ميكانيكي ويكون مردود هذه الطريقة مرتفعاً (75%).

ـ الطريقة الميكانيكية الحرارية وتعطي مردوداً يصل إلى 95٪.

### أ ـ تركيب وخواص مياه الصرف الناتجة عن صناعة عجينة الورق:

تستهلك صناعة عجينة الورق كميات كبيرة من الماء تتراوح بين 50 متر مكعب للطن الواحد من العجينة المصنعة بالطريقة الميكانيكية إلى 400 متر مكعب للطن الواحد بطريقة ثنائي الكبريتيت. وتحوي مياه الصرف تلك مواد معلقة مثل خيوط السيللوز والتراب وقطع الخشب وغيرها ومواد منحلة تعطي طلباً كيميائياً حيوياً للأكسجين مرتفع ( $DBO_5 = 100 - 500$ مغ / ل) كما تتراوح قيمة

الطلب الكيميائي للأكسجين ( DCO ) بين 300 و 4000 مغ / ل، إضافة إلى كون مياه الصرف ملونة.

ب ـ طرق المعالجة :

تتطلب مياه الصرف الناتجة عن صناعة عجينة الورق والمتمتعة بالخواص المذكورة أعلاه الجمع بين طرق مختلفة للمعالجة كي يتم التخلص من المواد المعلقة والمواد القابلة للتحلل الحيوي والمواد المنحلة الأخرى. لذلك يتم بالبداية التخلص من المواد المعلقة بالترقيد والتعويم ومن ثم تطبق طريقة حوض التهوية للتخلص من المركبات العضوية القابلة للتحلل الحيوي، وتتبع تلك العمليات بمراحل أخرى كالامتزاز على الفحم المنشط أو اللدائن العضوية ( Résines ) أو الترسيب الكيميائي وغيرها للتخلص من المركبات الكيميائية المنحلة والغير قابلة للتحلل الحيوي.

## 3 ـ صناعة النسيج :

تختلف نوعية مياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج باختلاف الخيوط المستعملة (طبيعية أو صناعية) وباختلاف طريقة الصباغة والمواد المستعملة بها.

### 3 - 1 ـ نوعية الفضلات السائلة :

تشمل صناعة النسيج على نوعين من الفعاليات هي :

ـ الفعاليات الميكانيكية والتي تعطي كميات صغيرة من الفضلات السائلة المتمثلة بالزيوت والشحوم المستعملة في الآلات الميكانيكية.

ـ اتمام عملية النسج ( Finition Textile ) والتي تشمل على عملية التبييض

والصباغة والتطبيع وتعطي كميات كبيرة من الفضلات السائلة.

ونلحص فيما يلي أهم الفضلات السائلة المطروحة من قبل مرحلة اتمام عملية النسيج:

- الملونات: النفتول، الملونات الكبريتية، المواد الفعالة سطحياً.
- الحموض العضوية والحموض المعدنية.
- القلويات (هيدروكسيد الصوديوم وكربونات الصوديوم).
- المواد المؤكسدة المستعملة في عملية التبييض: الماء الأكسجيني وماء جافيل وثنائي كرومات البوتاسيوم وغيرها.
- المواد المرجعة: سولفيت الصوديم.
- المواد الفعالة سطحياً: المنظفات والمواد المبللة.
- مواد الصقل: أميدون، كربوميتيل السيليلوز، . . .

ويلخص الجدول 23 النتائج التحليلية لمياه الصرف الناتجة عن عملية اتمام النسيج.

| | |
|---|---|
| التدفق | 80 إلى 400 متر مكعب لكل طن من النسيج |
| PH | 3إلى 12 ( قلوي على الأغلب ) |
| DCO | 200 إلى 1200 مغ / ليتر |
| $DBO_5$ | 60 إلى 400 مغ / ليتر |
| MES | 30 إلى 100 مغ / ليتر |
| $Cr^{+6}$ | 2 الى 3 مغ / ليتر |
| $S^{--}$ | 100 مغ / ليتر |

جدول 23 : تحليل مياه الصرف الناتجة عن عمليات اتمام النسج .

## 3-2 ـ طرق المعالجة:

تعتبر عملية توفير المياه المستعملة في صناعة النسيج إحدى العوامل الأساسية التي تؤخذ بعين الاعتبار أثناء التخطيط لاقامة مصنع للنسيج. تعالج مياه الصرف بإزالة الخيوط والأجسام المعلقة بواسطة شبك معدني ومن ثم تزال الزيوت والشحوم في الحوض المخصص لذلك وبعدها تمزج المياه القادمة من الأقسام المختلفة وتعالج بإحدى الطرق الثلاثة التالية:

### أ ـ طريقة المعالجة الفيزيائية الكيميائية:

تشتمل المعالجة الفيزيائية الكيميائية على عملية تعديل للوسط متبوعة بعملية تخثر وتكتل باستخدام أملاح معدنية (أملاح الحديد أو الألمينيوم) مع إضافة مواد مساعدة على التكتل، ومن ثم تجري عملية الترقيد للتخلص من المواد الراسبة. تعطي مرحلة التكتل مردوداً يتراوح بين 35 إلى 70 ٪ من قيمة DCO بينما يكون المردود ضعيفاً بالنسبة إلى $DBO_5$ ويتراوح بين 10 إلى 30٪. تطبق طريقة المعالجة الفيزيائية الكيميائية باستمرار على مياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج لاحتواء تلك المياه على مركبات سامة لا تزال إلا بتلك الطريقة غير أن أهم مساوىء المعالجة الفيزيائية الكيميائية يتمثل بتشكيلها لكميات كبيرة من الرواسب التي لا تتمتع بأية قيمة اقتصادية ولا يمكن الاستفادة منها ولذلك يتم تنشيفها باستعمال المرشح الضاغط أو المثفلة وتطرح في أماكن خاصة بالمخلفات الصلبة الصناعية.

### ب ـ المعالجة الحيوية:

تستعمل طريقة أحواض التهوية (الحمأة المنشطة) لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة عن صناعة النسيج وتطبق بعد إزالة المواد السامة والمواد المثبطة للفعل

الحيـوي وذلـك بالمعـالجـة الفيـزيـائية الكيميائية. تعطي طريقة أحواض التهوية مردوداً عاليـاً بالنسبـة إلى $DBO_5$ والـذي يتجـاوز 80 ٪، غير أن المـردود بالنسبة لازالـة الألـوان ضعيفـاً جداً لكـون المـواد الملونـة تتمتـع بقـابليـة ضعيفة للتحلل الحيوي. تعطي عملية جمع المعالجة الفيزيائية الكيميائية والحيوية مياه قابلة للطرح مباشرة ضمن مياه الأنهار.

**جـ ـ طرق المعالجة الخاصة :**

يمكن متـابعـة عمليات المعالجة السابقة بإضافة مواد مازة (الفحم المنشط) قادرة على إزالـة الألـوان بشكل كامل وكذلك إزالة المركبات العضوية الأخرى مما يفتح امكانية استعمال المياه المصفاة في عملية التصنيع وتوفير كمية لا بأس بها من المياه اللازمة لعملية التصنيع.

## 4 ـ الصناعات البترولية :

تشكل المركبات الهيدروكربونية النسبة العظمى من الملوثات الموجودة في مياه الصـرف النـاتجـة عن الصنـاعات البترولية، ويضاف لها بعض المركبات الأخرى نذكر منها :

- **المركبات العضوية**. فينولات، حمض السلفونيك، كحولات، . . .
- **المركبات الكبريتية**: الكبريت، المركبتان، تيوسلفات، . .
- أملاح الصوديوم.
- **مواد معلقة**: رمال، تراب، فحم، وسائط، . .

تفصل الفحوم الهيدروجينية على مرحلتين، تتضمن المرحلة الأولى الفصل الفيـزيـائي اعتماداً على مبدأ الكثافة، بينما تجري مرحلة الفصل الثانية باستخدام مساعدات التكتل في أحواض التعويم. نشير أن تطبيق المعالجة الحيوية لا تتم إلا

بعد أن تفصل المركبات الهيدروكربونية تماماً وكذلك المواد السامة والمثبطة للفعل الحيوي.

## 4 - 1 ـ مصادر التلوث بالمركبات البترولية:

يحدث التلوث بالمواد البترولية بسبب المخلفات الناتجة عن الصناعات البترولية أو نتيجة الحوادث المؤدية إلى تدفق كميات كبيرة من النفط. يمكن تجزئة مراحل الصناعات البترولية إلى ثلاثة مراحل أساسية هي:

1 ـ **مرحلة الانتاج**: تستخدم المياه في مرحلة انتاج النفط بشكل واسع، كما أن البترول الخام يحوي على نسبة من المياه، وتفصل تلك المياه بالتبخير عند درجة حرارة محصورة بين 50 و 90 درجة مئوية، وتحوي المياه الناتجة على 0,5 إلى 2 غرام في الليتر من المواد الهيدروكربونية. كما تحوي الأوحال الناتجة عن حفر آبار النفط كميات كبيرة من المياه والتي يتم فصلها في أحواض ترقيد خاصة ومن ثم تزال طبقة الفحوم الهيدروكربونية العائمة ضمن أحواض خاصة بذلك مع اضافة الكواشف الكيميائية.

2 ـ **نقل النفط بواسطة ناقلات النفط**: ينتج عن عملية نقل النفط كميات كبيرة من المياه الملوثة بالمركبات الهيدروكربونية، وتكون تلك المياه متواجدة داخل النفط المنقول وتنفصل عنه أثناء عملية النقل. كما يتم تنظيف ناقلات النفط بعد تفريغها ويكون ماء التنظيف محملاً بالمواد المنظفة ( 0,1 إلى 3 غرام في الليتر) والمحلات العضوية بالاضافة إلى المواد البترولية.

3 ـ **مياه الصرف الناتجة عن مصافي النفط**: تتكون مياه الصرف الناتجة عن مصافي النفط من أنواع مختلفة في حمولتها من المركبات البترولية وفي نوعية تلك المركبات. ونوجز فيما يلي المصادر الأساسية لمياه الصرف الناتجة عن مصافي النفط:

ـ المياه الناتجة عن أحواض ازالة الرمال من النفط وتكون تلك المياه ساخنة وبدرجة ملوحتها عالية.

ـ بخار الماء الناتج عن عمليات تقطير النفط وتشكل المياه المستعملة 1 إلى 1,5٪ من كمية النفط المقطرة حجماً.

ـ بخار الماء الناتج عن عمليات التحطيم الوسيطي ( Craquage Catalytique ) وتكون نسبتها 2 إلى 6٪ من البترول المحطم، ويحوي على الأمونياك والكبريت والفينول.

ـ المياه الزيتية الناتجة عن غسل مرافق مصافي النفط.

ـ المياه المستعملة لاذابة المواد الكيميائية التي تدخل في معالجة النفط كالصود الكاوي. وتعالج تلك المياه بشكل منفصل لاحتوائها على تراكيز عالية من المواد الكيميائية المستعملة.

## 4-2 ـ طرق المعالجة:

### 1 ـ الازالة الأولية للزيوت:

تستعمل أجهزة مختلفة للتخلص الأولي من الزيوت وتوضع تلك الأجهزة في مدخل محطة التنقية وتقوم بالفصل الميكانيكي لطبقة الفحوم الهيدروكربونية المتشكلة على السطح وإزالة الرواسب في قاع الحوض ونذكر أهم تلك الأجهزة المستعملة في محطات المعالجة:

ـ المرقد API والذي يعتمد على إزالة الطبقة السطحية بواسطة شفرة تتحرك على السطح.

ـ الحوض الدائري لازالة الزيوت والمصنع من قبل شركة Degrémont الفرنسية.

ـ المرقد المعتمد على الصفائح المتوازية.

ـ التعويم الميكانيكي بواسطة تيار هوائي .

2 ـ أحواض ازالة الزيوت :

تعطي المرحلة الأولى من إزالـة الزيوت مياه تحوي على 25 إلى 100 مغ / ليـتر من المـواد الهيـدروكـربـونيـة ولـذلـك يجب اتمام العملية وتخفيض نسبة المواد الهيـدروكـربـونيـة في ميـاه الصـرف إلى أقل من 20 مغ / ليتر لتصبح متناسبة مع القـوانـين العامة لطرحها ضمن المياه السطحية أو لمعالجتها بالطريقة الحيوية . وتتم تلك العمليات باستخدام احدى الطريقتين التاليتين :

ـ التعـويم باستعـمال الهواء مع اضافة بوليميرات مساعدة للتكتل والتعويم كما تضـاف المكتـلات المعدنية للتخلص من الكبريت بطريقة الترسيب . تعتبر هذه الطريقة فعالة ولكن لا يمكن تطبيقها على المياه الساخنة .

ـ الترشيح تحت الضغط بعد إضافة بوليميرات اليكترولية موجبة .

3 ـ إزالة الكبريت :

يتم التخلص من الكـبريت المنحـل في مياه الصرف الناتجة عن الصناعات البـترولـيـة بواسطـة البخـار أو بالأكسـدة البطيئـة بواسطـة الهـواء ، أو بالـترسيب الكيميائي للكبريت باستعمال أملاح الحديد .

4 ـ المعالجة الحيوية :

تستخـدم طرق المعـالجـة الحيـويـة الـواردة سابقـاً (الحمأة المنشطـة ، الأسرة البكـتريـة ، . . ) في معـالجـة مياه الصرف الناتجة عن الصناعات البترولية غير أن تطبيق تلك الطـرق يتم بعـد عمليـة التخلص من الفحـوم الهيـدروجينيـة والمـواد السامة والمعادن الثقيلة لأن تلك المركبات تقوم بدور مثبط للفعالية البكترية .

5 ـ عمليات المعالجة الاضافية :

تستعمل عمليات معالجة مختلفة لاتمام تصفية مياه الصرف مثل أحواض الامتزاز باستعمال الفحم المنشط أو الأكسدة بالأوزون أو الكلورة وغيرها .

## 5 ـ صناعات التخليق العضوي Synthèse

تستخدم المركبات البسيطة الناتجة عن تقطير الزيوت أو البترول مثل الاتيلين والبروبلين والبنزن والتولوين والفينول والفورمول وغيرها في صناعات التخليق العضوي لمركبات أكثر تعقيداً كالبلاستيك والمواد الفعالة سطحياً والأصبغة والدهانت والمحلات والمواد اللاصقة والراتنجات ( Résines ) والمواد الصيدلانية ومواد أخرى عديدة تستعمل في مجالات الحياة المختلفة .

تجري تلك الصناعات على مراحل مختلفة منها الأكسدة والهدرجة ونزع الهيدروجين والألكة والسلفنة والبلمرة وتحتاج تلك العمليات إلى وسائط عضوية ووسائط معدنية ( Pt, Cr, Th, Co, Cu, Zn, Ti ) ، وإلى محاليل ملحية مرتفعة التركيز مما يعطي مياه صرف غنية بتلك المركبات المستعملة اضافة إلى المركبات الناتجة عن التفاعلات الوسيطية .

نظرا للتنوع في المركبات المقذوفة داخل مياه الصرف واختلافها من مصنع الى آخر فان وضع طرق عامة لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن الصناعات الكيميائية غير ممكن ولذلك سنكتفي بالتعرض لبعض طرق المعالجة المستخدمة في تصفية مياه الصرف الناتجة عن صناعات التخليق العضوي .

### 5 - 1 ـ المعالجة الفيزيائية الكيميائية الأولية :

تشمل المعالجة الفيزيائية الكيميائية الأولية على مراحل مختلفة أولها

عمليـات الفصـل للأطوار المختلفة (سائل ـ سائل ، سائل ـ صلب) بشكل مباشر أو بعد اجراء عمليات التكتل وذلك في حالة تمتع مياه الصرف بإحدى الخواص التالية :

- تركيز الزيوت والمحلات العضوية يفوق العشرة ميليغرام في الليتر .
- نسبة المواد المعلقة ( M E S ) أو المواد الغروية تفوق 20٪ .
- وجود عناصر سامة مثل الكبر يت والمعادن الثقيلة .

يستعمل حوض إزالة الزيوت في مصانع الدهانات والأصبغة ومن ثم تجري عمليـة التكتـل والترقيد في وسط معتدل (كلور الحديد والكلس الحي ومساعدات التكتـل) يليـه عمليـة تعـويم باستعـمال الهواء مما يخفض قيمة المواد المعلقة في مياه الصـرف من 300 الى 15 مغ / ليـتر وارجـاع قيمـة الطلب الكيميـائي للأكسجـين ( D C O) من 2900 الى 1650 مغ / ليـتر . تزيـل هذه الطـريقة أيضاً بعض المعادن الثقيلة مثل Zn, Pd, Cr والمتميزة بسموميتها مما يسمح باستخدام المعالجة الحيوية فيما بعد .

تغطي مصـانـع الأدويـة والمبيـدات ميـاه صرف غنيـة بالمواد الغروية والمواد القـاتلة للجـراثيم ( Bactéricides ) والمبيدات ( Pesticide ) ولذلك فمن الواجب التخلص من تلك المـواد قبـل المعالجة الحيوية ويتم ذلك بإجراء عملية امتزاز على الفحم المنشط .

## 5 - 2 ـ المعالجة الحيوية :

تقـدم طريقـة المعـالجـة الحيـويـة حلاً منـاسباً للمياه الحاوية على مركبات كيميـائيـة متنـوعـة وخـاصـة المحـلات العضـويـة القـابلة لعمليـة التقهقر الحيوي ( Biodégradbles) كالكحـولات وحمض الخـل والسيتونات . كما تحوي مياه الصرف

تلك مواد عضوية غير قابلة للتقهقر الحيوي بشكل آني ويلزمها وقت لنمو وتكاثر البكتر يا المناسبة لها مع تطبيق شروط خاصة بتلك التحولات .

تتأكسد المركبات الدهنية الغير مشبعة ( Aliphatiques ) بسهولة أكبر من المركبات العطرية . أما مركبات ابيكلور هيدرين ( epichlorhydrine ) فتتمتع بخاصية السمومية للفعل البكتري ، بينما تتمتع مركبات أخرى (الايتر ازوبروبيل وثنائي اتيل الأمين وعديدي الايتيلين والغليكول والمورفولين) بفعل مقاوم للتقهقر الحيوي ويمكن التغلب على مقاومة تلك المواد بإحداث شروط مناسبة وخاصة لنمو البكتريات المناسبة مما يحتاج إلى زمن معين قبل بداية العملية بشكل ملحوظ . كانت تصنف مادة الأنيلين ضمن المواد السامة والمثبطة للفعل البكتري إلى أن تم الحصول على بكتريا مناسبة لأكسدتها بوجود الفينول والفورمول وأكدت النتائج التجريبية أن ارتفاع نسبة الأنيلين في حوض التهوية ضمن تلك الشروط الخاصة يؤدي إلى ارتفاع فعالية البكتريا .

تحوي مياه الصرف الناتجة عن مصنع للمحلات العضوية ومادة المطاط الصناعي الملوثات التالية : Alcool Butylique, Isobuténe Di - Isobutyle, Alcool Isopopylique, Paraffine, Furfurol Alkylphénols, Styrène, Butadiène .

ونذكر على سبيل المثال أن مصنع يعطي 15000 متر مكعب يومياً من مياه الصرف التي تبلغ حمولتها 20 إلى 30 طن من DCO يومياً و 10 إلى 15 طن من $DBO_5$ يومياً يتم معالجتها بطريقة الحوض الهوائي (الحمأة المنشطة) مع زمن للتماس يبلغ 8 إلى 10 ساعات وتعطي تلك الطريقة نتائج جيدة تتمثل بمردود يصل إلى 85٪ من DCO و 95٪ من $DBO_5$ . كما أثبتت تلك الطريقة صلاحيتها بالنسبة للكثير من المصانع الكيميائية ونوجز في الجدول التالي ( جدول 24 ) تركيب مياه الصرف الناتجة عن مصنع لانتاج اللدائن العضوية والفينول والفورمول والبولة ومردود عملية المعالجة بطريقة الحوض الهوائي (الحمأة المنشطة) .

| المادة الملوثة | التركيز في مياه الصرف | المردود |
|---|---|---|
| الفورمول | 300 — 400 مغ / ليتر | 97,5 — 99 ٪ |
| الفينول | 400 — 500 مغ / ليتر | 96 - 99,8 ٪ |
| الأنيلين | 1000 — 1500 مغ / ليتر | 95 — 100 ٪ |

جدول 24 : بعض الملوثات ومردود عملية المعالجة الحيوية .

تشمل محطة معالجة مياه الصرف للمصانع المنتجة للبوليميرات (الجزيئات الضخمـة) عدة مراحـل، حيث تتعـرض الميـاه في البـداية إلى عملية مزج للمياه القـادمـة من أقسام المصنع المختلفة لأحداث حالة تجانس للوسط. تزال بعد ذلك الألـــوان باستعـــمال الكلس الحي في وســـط قلوي ( PH = 12 ) يلي تلك المـرحلة المعـالجـة الحيـوية (الحوض اهوائي) المتبوعة بحوض إزالة الأزوت ومن ثم حوض الـترويق النهـائي. يعطي الجـدول التـالي ( جدول 25 ) النتائج التي تم الحصول عليهـا مى إحـدى المحطـات المتضمنـة على المـراحـل الواردة أعلاه والمقامة على مصنع كبير لتصنيع البوليميرات.

| المقياس المستعمل | قبل المعالجة مغ / ل | بعد المعالجة مغ / ل | المردود |
|---|---|---|---|
| $DBO_5$ | 1800 | 300 | ٪ 83 |
| DCO | 3000 | أقل من 400 | ٪ 87 |
| آزوت كلي N | 200 | 30 | ٪ 85 |
| نترات $NO_3$ | 200 | 50 | ٪ 75 |

جدول 25 : نتائج التحليل في محطة لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن مصنع لانتاج البوليميرات

### 3-5 ـ المعالجة الفيزيائية الكيميائية النهائية :

تعطي بعض الصناعات بقايا عضوية غير قابلة للتقهقر الحيوي ولذلك تضاف مرحلة أخرى على المراحل السابقة، وتتمثل تلك المرحلة بإجراء عملية الامتزاز على سطح الفحم المنشط أو مادة فعالة أخرى. ويستعمل في مصانع المركبات العضوية البوليميرية المعطية لمخلفات سائلة نيترية ( Dinitro toluèn, Dinitrobenzène ) أو مخلفات كلورية ( .... ,Chlorobenzène ) الامتزاز على الفحم المنشط في وسط حمضي ( PH=3 ) ومن ثم يتم تعديل الوسط قبل طرح المياه في المجارير العامة أو المياه السطحية. ويتم التخلص بالطريقة السابقة من 85 ٪ من الكربون العضوي الكلي ( COT ) في حالة احتواء الماء قبل المعالجة على نسبة تتراوح بين 800 و 1000 مغ / ليتر من الكربون العضوي.

## 6 ـ التعدين والصناعات الملحقة به :

### 1-6 ـ صناعة الحديد :

تحوي مياه الصرف الناتجة عن صناعة الحديد الأنواع الرئيسية التالية :

أ ـ المياه المشبعة بالأمونيا والناتجة عن فرن الفحم وتحوي على الفينولات والأمونيا والكبريت والسيانور وسلفوسيانور وتركيز مرتفع من شوارد الكلور. وتتم عملية معالجة تلك المياه باتباع المراحل التالية :

- ازالة القطران بعملية ترقيد أو ترشيح أو كلاهما معاً.
- التخلص من الأمونيا بواسطة هيدروكسيد الصوديوم أو الكلس الحي
- تعديل المياه بعد مرحلة التخلص من الأمونيا وتبريدها.
- معالجة حيوية بواسطة حوض التهوية.

ـ ترقيـد الميـاه الخـارجـة من حوض التهـويـة مع اجراء عملية امتزاز داخل حوض الترقيد وباستعمال الفحم المنشط.

ب ـ ميـاه الصـرف النـاتجـة عن غسـل الغـازات المنطلقة من الفرن العالي وتحـوي تلك الميـاه على الأمـونيـا والسيـانـور وسيلفـوسيانور وشوائب من الفينول والمعادن الثقيلة ( Pd, Zn ). تعالج تلك المياه بطريقة الترسيب الكيميائي للمعادن الثقيلة وللسيـانـور باستخدام أملاح الحديدي أو باستخدام مؤكسدات قوية ومن ثم يتم التخلص من الأمونيا بواسطة هيدروكسيد الصوديوم أو الكلس الحي.

جـ ـ المياه الناتجة عن وحدة تصفيح المعادن على البارد: وتحوي على المياه الحمضيـة (حمض كلور المـاء، حمض الكبريت، حمض الآزوت) وتعالج بالتعديل والأكسـدة الهـوائيـة لترسيب الحـديـد على شكـل هيـدروكسيـد الحـديد. ويتم التخلص من الكـروم المنحـل باستخدام المبادلات الشاردية أما الزيوت والشحوم فإنها تزال بحوض خاص بذلك.

## 6-2 ـ صناعة معالجة السطوح:

**أ ـ تقنية معالجة السطوح:** تجري عمليات معالجة السطوح للمواد المعدنية وللمـواد البـلاستيكيـة أيضـاً. ويكون الهدف من تلك المعالجة حمايتها من التآكل والصدأ أو تغيير خواصها السطحية الفيزيائية أو تحسين مظهرها الخارجي وصقلها.

تجري عمليـات معـالجـة السطـوح في أحواض تحوي على تراكيز عالية من المـواد الكيميـائية حيث تغمس القطع المعدنية أو البلاستيكية المراد معالجتها داخل الحـوض ليحـدث تفـاعـل كيميـائي بين المحلول والسطـح أو تفـاعـل كيميـائي كهربائي. وعند اخراج تلك القطع من المحلول تكون مبللة به ولذلك يتم غسلها

قبل انتقالها إلى حوض آخر ولذلك فإن مياه الصرف تنقسم إلى قسمين هما :

ـ مياه أحواض المعالجة التي يتم التخلص منها بعد الاستعمال وتحوي على تراكيز عالية من المواد الكيميائية .

ـ مياه الغسيل وتحوي على المواد الكيميائية ذاتها ولكن بتراكيز خفيفة جداً مقارنة مع أحواض المعالجة .

وتحوي مياه الأحواض ومياه الغسيل مركبات عضوية ومعدنية مختلفة أهمها :

ـ مواد عضوية كالزيوت والشحوم والمواد المساعدة على التبلل والمعقدات العضوية المستعملة بشكل واسع في الطرق الحديثة لمعالجة السطوح .

ـ مواد معلقة كأكاسيد المعادن وهيدروكسيدها والمواد المنظفة

ـ مواد معدنية منحلة كالمعادن والسيانور وغيرها .

ونورد فيما يلي أمثلة على محتويات أحواض المعالجة المستعملة :

1 ـ حوض اليكترو ليت النحاس :

| | |
|---|---|
| Cu | 14 - 20 مغ / ليتر |
| CN | 22 - 27 مغ / ليتر |
| Acide Tartrique | 0 - 15 مغ / ليتر |

2 ـ حوض اليكترو ليت الكادميوم :

| | |
|---|---|
| Cd | 10 - 20 مغ / ليتر |
| CN | 40 - 50 مغ / ليتر |

3 ـ حوض اليكترو ليت الزنك :

| | |
|---|---|
| Zn | 20 - 35 مغ / ليتر |
| CN | 30 - 50 مغ / ليتر |
| NaOH | 40 - 90 مغ / ليتر |

تحوي مياه الصرف الناتجة عن المصنع كافة المركبات الموجودة في أحواض

المعالجة اضافة إلى المعادن الناتجة عن التفاعلات الكيميائية والكيميائية الكهربائية .

ب ـ تصفية مياه الصرف :

1 ـ تصنيف الملوثات الناتجة ومعالجتها : يمكن تصنيف الملوثات الناتجة ضمن أربعة أنواع مختلفه هي :

ـ المواد السامة : السيانور والكروم السداسي والفلور

ـ المواد المغيرة لـ PH الوسط : حموض او أسس

ـ مواد معلقة : هيدروكسيد المعادن وكربونات المعادن وفوسفات المعادن

ـ عناصر أخرى مختلفة : كبريت، حديد ثنائي ، . . .

وبالتالي فإن طرق المعالجة تقسم أيضاً إلى أربعة أقسام هي :

ـ طرق الارجاع الكيميائي لمركبات الكروم السداسي

ـ تعديل PH الوسط .

ـ طرق الأكسدة لمركبات السيانور والحديد الثنائي والكبريتيت والنيتريت

ـ الترسب الكيميائي والترقيد والترشيح .

2 ـ التفاعلات الأساسية لعمليات الأكسدة والارجاع :

يؤكسد السيانور المعروف بسموميته العالية إلى السيانات المعدومة السمومية . وتتم عملية الأكسدة في وسط قلوي وباستخدام مؤكسدات قوية مثل الهيوكلوريت وغاز الكلور وحمض كارو ( $H_2SO_5$ ) وغيرها . وفيما يلي التفاعلات الحادثة :

ـ مع الهيبوكلوريت :

$$NaCN + NaClO \longrightarrow NaCNO + NaCl$$

ـ مع غاز الكلور :

$$NaCN + Cl_2 + 2\,NaOH \longrightarrow NaCNO + 2NaCl + H_2O$$

ـ مع حمض كارو:

$$NaCN + H_2SO_5 \longrightarrow NaCNO + H_2SO_4$$

تحدث تلك التفـاعـلات في وسـط قاعـدي ( PH أعلى من 12 ) لتجنب تشكـل مركبـات سامـة في حالـة استخدام أوساط أقل قاعدية . كما نشير أن هناك امكانية استمرار عملية الأكسدة لاعطاء غاز الآزوت وتحطيم السيانات :

$$2NaCNO + 3\ Cl_2 + 6\ NaOH \longrightarrow 2\ NaHCO_3 + N_2 + 6NaCl + H_2O$$

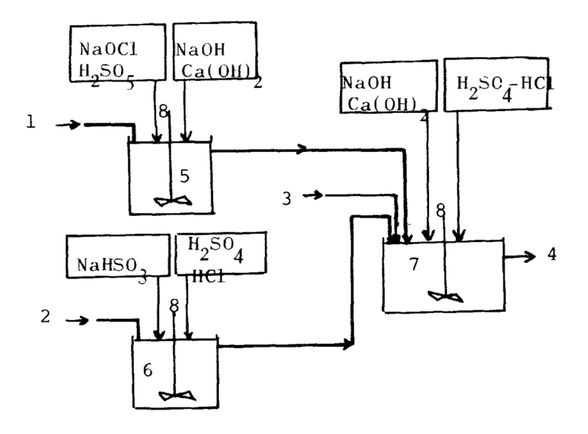
غير أن التفـاعـل الأخـير يتطلب كميـة كبيرة من الكواشف تعادل ثلاثة أضعاف الكميـة الـلازمـة لاحـداث عمليـة الأكسـدة الى السيانات فقط ، كما يلزمه وقت طويـل لاتمـام عملية الأكسدة ( 5 إلى 90 دقيقة ) مما يجعل عملية الأكسدة الكاملة باهظة التكاليف ولذلك يتم الاكتفاء بالأكسدة الأولية وتحويل السيانور إلى سيانات .

يرجـع الكـروم السـداسي السـام إلى الكروم الثلاثي الأقل سمومية والقـابـل للترسيب على شكـل هيـدروكسيـد الكروم . تتم عملية الارجاع بواسطة كبريتيت الصوديوم أو كبريتات الحديدي في وسط حمضي :

$$H_2Cr_2O_7 + 3NaHSO_3 + 3H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 3NaHSO_4 + 4\ H_2O \qquad pH\ \ 2,5$$

$$H_2Cr_2O_7 + 6\ Fe\ (SO_4) + 6H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 3\ Fe_2(SO_4)_3 + 7\ H_2 \qquad pH\ \ 6$$

3 ـ مراحـل معـالجـة ميـاه الصرف : يوضح الشكل 31 مخططاً لمحطة كاملة لمعـالجـة ميـاه الصـرف الناتجة عن أحواض معالجة السطوح . وتحوي تلك المحطـة على عمليـات الأكسـدة والارجـاع والتعـديـل والـترسيب الكيميـائي . تعـالـج المياه الحاوية على تراكيز منخفضة من الملوثات بواسطة المبادلات الشاردية مما يسمح بإعادة استخدام المياه واستعادة استعمال المعادن




1 ـ مياه الصرف الحاوية على السيانور، 2 ـ مياه الصرف الحاوية على الكروم
3 ـ مياه الصرف القلوية والحامضية، 4 ـ المياه العالجة والمتجهة الى حوض الترقيد
5 ـ حوض ازالة السيانور، 6 ـ حوض ازالة الكروم، 7 ـ حوض التعديل، 8 ـ خلاط

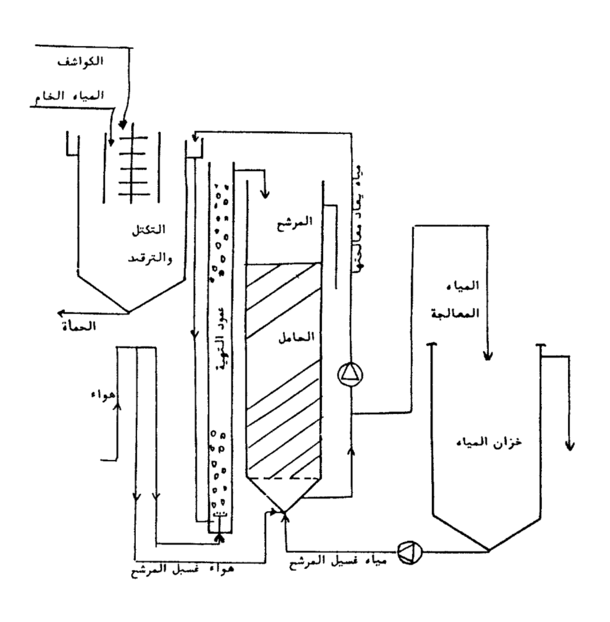
**شكل 31**

**مخطط لمحطة لازالة السمومية من مياه الصرف والمتمثلة بازالة السيانور والكروم**

ملحق 1 : المعايير المعتمدة في كل من سويسرا وايطاليا لمياه الصرف الصناعية المسموح طرحها في المياه السطحية .

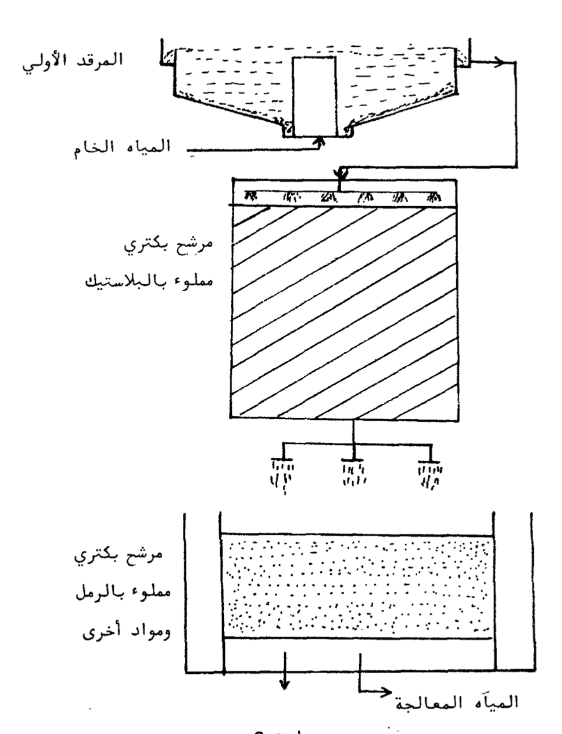
| المعيار | | ايطاليا | سويسرا |
|---|---|---|---|
| PH | | 9,5 - 5,5 | 8,5 -6,5 |
| Tc° | | 30 | 30 |
| MES | مغ / ليتر | 80 | 20 |
| $DBO_5$ | مغ / ليتر | 80 - 40 | 20 |
| DCO | مغ / ليتر | 160 | — |
| المعادن السامة | مغ / ليتر | 3 | — |
| ألمنيوم | مغ / ليتر | 1 | 1 |
| أرسينيك | مغ / ليتر | 0,5 | 0,1 |
| باريوم | مغ / ليتر | 20 | 5 |
| كوبالت | مغ / ليتر | — | 0,5 |
| كادميوم | مغ / ليتر | 0,02 | 0,1 |
| كروم ثلاثي | مغ / ليتر | 2 | 2 |
| كروم سداسي | مغ / ليتر | 0,2 | 0,1 |
| حديد | مغ / ليتر | 2 | 2 |
| منغنيز | مغ / ليتر | 2 | — |
| زئبق | مغ / ليتر | 0,005 | 0,01 |
| نيكل | مغ / ليتر | 2 | 2 |
| رصاص | مغ / ليتر | 0,2 | 0,5 |
| نحاس | مغ / ليتر | 0,1 | 0,5 |
| زنك | مغ / ليتر | 0,5 | 2 |
| سيانور | مغ / ليتر | 0,5 | 0,1 |

| المعيار | | ايطاليا | سويسرا |
|---|---|---|---|
| كبريتات | مغ / ليتر | 1000 | — |
| شوارد الكلور | مغ / ليتر | 1200 | — |
| آزوت الأمونيا | مغ / ليتر | *15* | — |
| آزوت نيتريت | مغ / ليتر | 0,6 | 1 |
| آزوت النترات | مغ / ليتر | 20 | — |
| زيوت وشحوم | مغ / ليتر | 20 | 20 |
| زيت معدني | مغ / ليتر | 5 | — |
| فينول | مغ / ليتر | 0,5 | 0,2 |
| ألدهيد | مغ / ليتر | 1 | — |
| محلات عضوية | مغ / ليتر | 0,2 | — |
| محلات آزوتية | مغ / ليتر | 0,1 | — |
| محلات كلورية | مغ / ليتر | 1 | 0,1 |
| مواد فعالة سطحياً | مغ / ليتر | 2 | — |
| المبيدات العضوية الكلورية | مغ / ليتر | 0,05 | — |
| المبيدات العضوية الفوسفورية | مغ / ليتر | 0,1 | — |
| كوليفورم (في 100 مل ماء ) | مغ / ليتر | 20000 | — |
| كوليفورم غيطية ( برازية ) ( في 100 مل ماء ) | | 12000 | — |
| ستريتوكوك غيطية ( برازية ) (في 100 مل ماء) | | 2000 | — |
| شوارد الفلور | مغ / ليتر | 6 | 10 |




ملحق 2

المرشح البكتري المغذى بالهواء المعاكس في اتجاهه لتدفق الماء




ملحق 3

محطة معالجة المياه Dellingsen المخصصة لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن مصنع للورق

# المصطلحات العلمية

| | |
|---|---|
| Acıdes Gras | حوض دسمة |
| Alcalımétrıque des Eaux (T A ) | مقياس قلوية الماء |
| Alcalımétrıque Complete (T A C) | مقياس القلوية الكاملة |
| Autoépuration | تنقية ذاتية |
| Acide Humıque | حمض الدبال |
| Aération | تهوية |
| Aérobie | هوائي |
| Anaerobıe | لا هوائي |
| Antibiotipues | مضادات حيوية |
| Albumines | زلال |
| Bıodégradation | تقهقر حيوي |
| Biodégradabilıt | قابلية التقهقر الحيوي |
| Biosphére | محيط حيوي |
| Boues | حمأة (أوحال) |
| Boue Activée | حمأة منشطة (أوحال منشطة) |
| Brasserie | مصنع الجعة |
| Biosorption | امتزاز حيوي |
| Carbon Organıque | كربون عضوي |
| Centrıfuge | مثفلة |
| Caséine | جبنين |
| COT | كربون عضوي كلي |

| | |
|---|---|
| Couches Superposées | طبقات متراكبة |
| Champ d'épandage | حقل تصفية مياه المجارير |
| Chapeau de Digestion | غطاء الهاضم |
| Coagulation | التخثر والتكتل (في مجال معالجة المياه) |
| Charge Massique (Cm) | حمولة كتلوية |
| Charge Volumique (Cv) | حمولة حجمية |
| Chimiotrophe | كيميائية التغذية |
| Coliforme | كوليفورم (بكتريا تتواجد في البيئة المائية) |
| Coliforme Fécaux | كوليفورم غيطي |
| DTO | الطلب الكلي للأكسجين |
| Desinfection | تطهير (تستعمل كلمة تعقيم في أكثر المصادر) |
| DBO | الطلب الكيميائي الحيوي للأكسجين |
| DCO | الطلب الكيميائي للأكسجين |
| Disque Biologique | قرص حيوي |
| Dénitrification | ازالة النترات (تحويل النترات إلى مركبات اخرى) |
| Décantation | ترقيد |
| Détergant | منظفات |
| Epuration | تصفية |
| Epandage | مصفى مياه المجارير |
| Epandre | فرش الأسمدة |
| Epaississement | تخثير الحمأة |
| Eaux Résiduaires Urbaines | مياه الصرف الحضرية |
| Eaux Résiduaires Industrieles | مياه الصرف الصناعية |
| Equivalant- Habitant (EH ) | مخلفات شخص واحد |
| Finition Textile | اتمام عملية النسج |
| Fosse Septique | حفرة التعفن |

| | |
|---|---|
| Flottation | تعويم |
| Floculation | تكتل |
| Germes Pathogènes | جراثيم ممرضة |
| Hétérotrophe | شاذة التغذية |
| Humification | تَدَبُّل |
| Herdicide | مبيد النباتات |
| Humique | دبال |
| Insecticide | مبيد الحشرات |
| Lactose | لاكتوز |
| Laitier | جفاء (ما يتخلف عن خبث زجاجي عند صهر المعادن). |
| Lits Bactériens Successifs | أسرة بكترية متوالية |
| Lits Bacteriens Alternés | أسرة بكترية متناوبة |
| Lits Bactériens Immergés | أسرة بكترية مغمورة |
| Incinération | تحويل إلى رماد |
| Latex | لبن نباتي |
| Matières en Suspension (MES ) | مواد معلقة |
| Matières Décantables | مواد قابلة للترقيد |
| Matières non Dissoutes | مواد غير منحلة |
| Mélasse de Betterave | دبس الشوندر |
| Matières Graisses | مواد دهنية |
| Mucilages | لعاب النباتات |
| Matières Volatiles en Suspension | مواد معلقة قابلة للتبخر |
| Niveau Piézométrique | مستوى الماء الباطني |
| Nitrification | نترجة |
| Osmose Inverse | حلول عكوس |

| | |
|---|---|
| Oxygénation | اكسجة |
| Precipitation | ترسب |
| Pouzzolane | بزولان |
| Perte de Charge | ضغط خلفي |
| Perméable | نفوذ |
| Pesticide | مبيد |
| Pollution Fécale | تلوث غيطي |
| Résines | لدائن عضوية ـ راتنجات |
| Résidu Fixe | متبقي ثابت |
| Rejets Industriels | فضلات صناعية |
| Synthèse | تخليق عضوي |
| Sedimentation | ترسب |
| Traitement des Boues | معالجة الحمأة |
| Toit du Substratum | سقف الطبقة التحتية |
| Vinasse | بقايا العصارة الكحولية |
| Zone de Saturation | منطقة مشبعة |
| Autotrophe | ذاتية التغذية |
| Clarificateur | مُرَوِّق |
| Aération Prolongee | تهوية مطولة |
| Epandage Souterram | تصفية تحت سطح الأرض |

# المراجع الأجنبية

- FMEINCK. H. STOOFF, H. KOHLSCHUTTER

Eaux Résiduaires Industrielles

Traduction par GASSER Paris 1977

- Université des Sciences et des Techniques d'Alger cours d'Assainissement

Urbain

O.P.U. Alger 1980

- F. RAMADE

Eléments d'Ecologie, Ecologie Appliquée Paris 1982

- DEGREMONT

Mémento Technique de l'Eau, Paris 1978

- J. BORMANS

Analyse des Eaux Résiduaires Industrielles, Paris 1974

- J. RODIER

L'Analyse de L'Eau, Paris 1978

- AQUAPROX

le Traitement des Eaux, Tomel : Eaux Naturelle, Eaux de Refroidissement

- R. BREMOND, R. VUICHARD

Paramétres de la Qualité des Eaux,

- R. J. GEOLOGUE

L'Epuration des Eaux Usées Domestiques, Trib. Cebedeau N☆ 513- 514,

39 PP 1- 54 (1986).

- P. BOUTIN

Eléments pour une Histoire des Procédés de Traitement des Eaux Résiduaires.
Trib. Cebedeau N☆ 511-512, 39, PP 3-18 (1986)
N☆ 515 , 39, PP 30-44 (1986)
N☆ 517 , 39 PP 35-46 (1986)
- G. ARNAUD
Quelque Cas Typiques de Pollution d'Eau de Nappe
T.S.M. L'EAU N☆ 10, PP.465-474 (1986)
- M. Vuillot, C. BOTIN
Les Systèmes Rustiques d'Epuratio, Trib. Cebedeau
N☆ 518, 40 PP 21-31, (1987)
- FAYOUX
Criteres de Caracterisation de Classification d'une Boue
J. I. E. (Journées Information Eaux) Poitiers 1980
- BEBIN
Evolution Recente des Techniques d'Epuration des Eaux
Residuaires Urbaines, G. I. E. Poitiers 1982
- J. LARNICOL
Les Objectifs de Qualité des Eaux Superficielles
G. I. E. Poitiers 1984
- P. BOUTIN, B. ROUSSEAU
L' Utilisation des Eaux Résiduaires en Agriculture
J. I. E. Poitiers 1984
- J. BIZE, D. GEOFFRAY, B. GUERIN, N. NIVAULT
L'Epuration par Sol: Techniques et Performances
J. I. E. Poitiers 1984

# المراجع العربية

- نصر الحايك
تلوث المياه وتنقيتها، الجزائر 1989
- محمد العودات
التلوث وحماية البيئة، دمشق 1988
- كنت ميلاني، ترجمة الشيباني علي الغنودي
بيولوجيا التلوث، طرابلس 1980
- عصام المياس
مشاكل تلوث البيئة الزراعية، بيروت 1981
- رنيه كولاس ترجمة محمد يعقوب
تلوث المياه، بيروت 1981

# الفهرس



## الفصل الأول

## لمحة تاريخية عن معالجة مياه الصرف



## الفصل الثاني

## نوعية مياه الصرف ومصادرها

## الفصل الثالث

## تصفية مياه الصرف بواسطة التربة



## الفصل الرابع

## طرق التصفية الفردية لمياه الصرف المنزلية

## الفصل الخامس

## المعالجة الحيوية لمياه الصرف



## الفصل السادس

## المعالجة الفيزيائية الكيميائية

## الفصل السابع
## معالجة مياه الصرف الصناعية

دار الحصاد للنشر والتوزيع
دمشق - برامكة - جانب سانا - هـ ٢٤٦٣٢٦